ISSN 0032—874X

11 ПРИРОДА

1981

ПРИРОДА

Ежемесячный
популярный
естественнонаучный
журнал
Академии наук СССР

Основан в 1912 году

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
академик
Н. Г. БАСОВ

Доктор физико-математических наук
Е. В. АРТЮШКОВ

Доктор биологических наук
А. Г. БАННИКОВ

Академик
Д. К. БЕЛЯЕВ

Доктор биологических наук
А. Л. БЫЗОВ

Заместитель главного редактора
В. А. ГОНЧАРОВ

Доктор физико-математических наук
С. П. КАПИЦА

Академик
Б. М. КЕДРОВ

Доктор физико-математических наук
И. Ю. КОБЗАРЕВ

Академик
Н. К. КОЧЕТКОВ

Член-корреспондент АН СССР
В. Л. КРЕТОВИЧ

Доктор философских наук
Н. Ф. ОВЧИННИКОВ

Заместитель главного редактора
В. М. ПОЛЫНИН

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

Заместитель главного редактора
доктор биологических наук
А. К. СКВОРЦОВ

Доктор геолого-минералогических наук
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора
кандидат технических наук
А. С. ФЕДОРОВ

Член-корреспондент АН СССР
В. Е. ХАИН

Член-корреспондент АН СССР
Р. Б. ХЕСИН

Академик
В. А. ЭНГЕЛЬГАРДТ

Доктор биологических наук
А. В. ЯБЛОКОВ

МАБ — символ межправительственной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (The Man and the Biosphere). Этим символом обозначены материалы, которые журнал «Природа» публикует в рамках участия в деятельности этой программы. Подробно о программе см.: «Природа», 1979, № 1, с. 28.

На первой странице обложки. Красноголовые корольки. Литография из «Природы» за 1875 г., кн. 2. См. в номере: Успенская Н. В. «Природа» до «Природы».

На третьей странице обложки. Одна из фресок (и ее прорисовка) на стенах святилища из Чатал-Гуюка (Южная Турция, VII тыс. до н. э.). См. в номере: Мерперт Н. Я. Древнейшее земледелие на Ближнем Востоке.

На четвертой странице обложки. Ветка с плодами облепихи крушиновидной (Hippophae rhamnoides). См. в номере: Амшеев Р. М. Облепиха в Бурятии.

Фото Р. В. Воронова.

©Издательство «Наука» - «Природа», 1981 г.

№ 11 (795)

Ноябрь 1981 года

В НОМЕРЕ

Киржниц Д. А., Фролов В. П. Черные дыры, термодинамика, информация 2

Бергельсон Л. Д. Моделирование мембран и мембранная инженерия 15

Молин Ю. Н. Магнитные поля и химические реакции 24

Сузюмов А. Е. Открыты новые оси расширения дна Тихого океана 33

Марковский Н. И. Палеогеография Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна 34

Мерперт Н. Я. Древнейшее земледелие на Ближнем Востоке 42

Пономарева Т. С. Охрана дрофы в ГДР 50

Сучков А. А. Химическая и динамическая эволюция Галактики 56

Успенская Н. В. «Природа» до «Природы» 64

Амшеев Р. М. Облепиха в Бурятии 76

КРАСНАЯ КНИГА

Голубев Н. С. Кавказская крестовка 78

Бобринская В. С. Можно ли сохранить земли КМА? 80

Фраучи В. Х. На заре советской гельминтологии 89

Постельников Е. С. Рифты — элементы саморазвития земной коры 100

НОВОСТИ НАУКИ 104

КНИГИ, ЖУРНАЛЫ **Колчинский Э. И.** Выдающийся биолог-эволюционист А. С. Фаминцын [120]. **Прохоров А. В.** Минусы числа и плюсы мысли [122] 120

НОВЫЕ КНИГИ 124

В КОНЦЕ НОМЕРА **Кузнецова Н. И., Шрейдер Ю. А.** Открытие постоянной Марка (науковедческие уроки исследования О-систем) 127

Черные дыры, термодинамика, информация

Д. А. Киржниц, В. П. Фролов

Давид Абрамович Киржниц, доктор физико-математических наук, заведующий сектором теории сверхпроводимости Отдела теоретической физики им. И. Е. Тамма Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР. Автор работ по физике экстремальных состояний вещества, ядерной физике и физике элементарных частиц. В «Природе» опубликовал статьи : Проблема фундаментальной длины (1973, № 1); Фазовые превращения в микромире и во Вселенной (в соавторстве с А.Д.Линде; 1979, № 11).

Валерий Павлович Фролов, кандидат физико-математических наук, младший научный сотрудник того же института. Область научных интересов — классическая и квантовая физика черных дыр, теория гравитации.

Черные дыры — эти гипотетические небесные объекты — в последние годы привлекают к себе большое внимание. Их аномально сильное тяготение действует как своего рода клапан: вещество непрерывно захватывается таким объектом и падает на него, как в «дыру»; в то же время никакое тело, даже квант света, не может вырваться из этих объектов наружу, поэтому любому внешнему наблюдателю они должны представляться «черными»[1].

Пока с уверенностью нельзя сказать, что черные дыры открыты, хотя возможность их существования неизбежно следует из общей теории относительности. Обнаружение черных дыр, в которые так верит большинство специалистов, имело бы чрезвычайно важное значение для астрофизики и космологии. Однако уже сегодня интерес к черным дырам далеко выходит за рамки науки о космосе. В процессе исследования этих необычных объектов обнаружилась их глубокая связь с фундаментальными проблемами физики. В частности, это связано с удивительными термо-

[1] О черных дырах см., напр.: Зельдович Я. Б., Новиков И. Д. «Черные дыры» во Вселенной.— Природа, 1972, № 4, с. 28; Зельдович Я. Б., Новиков И. Д., Старобинский А. А. Черные и белые дыры.— Природа, 1976, № 1, с. 34; Новиков И. Д., Полнарев А. Г. Первичные черные дыры.— Природа, 1980, № 7, с. 12.

динамическими свойствами черных дыр, которые, как оказалось, в принципе не могут быть холодными телами, а обязательно должны излучать подобно нагретому до определенной температуры черному телу. Такое явление называют эффектом Хокинга.

Излучение черной дыры порождается определенными физическими процессами, протекающими в ее сильном поле тяготения. Однако к самой необходимости эффекта Хокинга можно прийти уже из общих термодинамических соображений. В самом деле, упавшее внутрь черной дыры тело полностью исчезает из мира, доступного физическому восприятию внешнего наблюдателя. Исчезает и содержащийся в теле запас энтропии, если первоначально оно было «горячим». И если бы не было излучения Хокинга, восполняющего убыль энтропии, наблюдатель столкнулся бы с нарушением второго начала термодинамики.

Оказывается, к эффекту Хокинга можно прийти еще с более общей точки зрения, согласно которой тепловые свойства физической системы тесно связаны с объективной неполнотой информации о ее внутренней структуре. Для обычного горячего тела это отвечает отсутствию информации о движении отдельных его частиц. В случае же черной дыры информация о ее внутреннем состоянии «отсекается» от наблюдателя мощными силами тяготения (а сам этот объект может быть уподоблен черному ящику, как в кибернетике называют устройство с неизвестной внутренней структурой).

До открытия эффекта Хокинга мы знали единственный механизм появления тепловых свойств у динамической системы. Он состоит в превращении упорядоченного движения частиц в хаотическое, проявляясь и при трении двух кусков дерева, с помощью которых наши предки добывали огонь, и в современных установках по нагреву плазмы. Физика черных дыр указала нам новый механизм появления тепла, который происходит по схеме: черная дыра→черный ящик→черное тело.

Черные дыры помогли нам увидеть новые и неожиданные аспекты термодинамики, обогатив наше понимание природы теплоты. Поэтому, независимо от того, существуют эти объекты в природе или нет, они уже с лихвой оправдали себя как предмет теоретического исследования и, можно думать, надолго останутся в истории естествознания.

СВОЙСТВА ЧЕРНЫХ ДЫР

Особенности сил тяготения. За возникновение черных дыр ответственны силы тяготения. Они стали известны человечеству намного раньше тех сил, которые связаны с электромагнитными, сильными и слабыми взаимодействиями. Это тем более удивительно, что при прочих равных условиях тяготение много слабее других взаимодействий (например, для двух протонов оно примерно на сорок порядков слабее их электрического отталкивания). Поэтому тяготение скорее всего вообще не было бы открыто, не обладай оно рядом замечательных свойств, ведущих к его многократному усилению.

Это, прежде всего, свойство дальнодействия, благодаря которому пробная частица испытывает тяготение со стороны всех частей массивного тела, в том числе и достаточно от нее удаленных. Этим тяготение резко отличается от сильного и слабого взаимодействий, имеющих очень малый радиус действия сил. Что же касается электромагнитного взаимодействия, то, хотя оно также имеет дальнодействующий характер, порождаемые им силы на самом деле ограничены по своей величине. Это связано с существованием электрических зарядов обоих знаков и с отталкиванием одноименных зарядов. Поэтому в любом макроскопическом теле заряд практически скомпенсирован, в противном случае оно было бы разорвано на части мощными силами отталкивания.

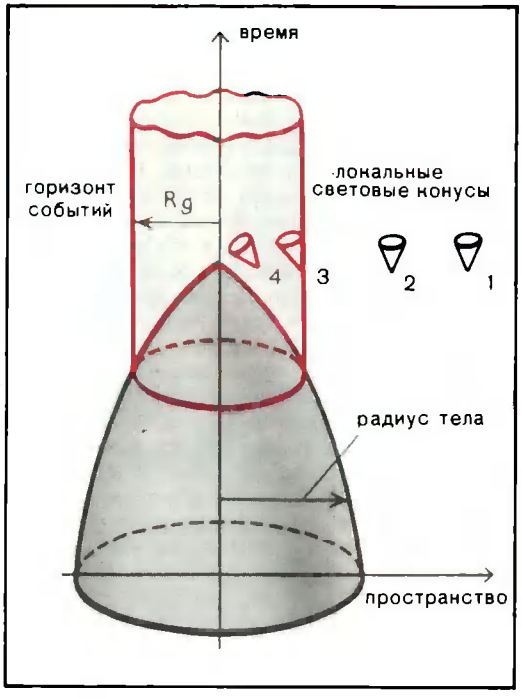
Напротив, «заряды тяготения» — массы — всегда имеют один и тот же (положительный) знак, причем не отталкиваются, а притягиваются друг к другу. При этом чем тело массивнее, тем оно более устойчиво относительно «развала». Именно поэтому силы тяготения, ничтожно малые для отдельных элементарных частиц, суммируясь при составлении из них макроскопического тела, могут достигать огромной величины, вырастая в космическом масштабе в могучий, нередко определяющий фактор.

Черная дыра. Именно так обстоит дело для объекта, большая масса которого сосредоточена внутри малой области пространства. Еще в 1798 г. Лаплас, исследуя распространение света в поле тяготения такого объекта, пришел к заключению, что в природе могут встречаться тела, абсолютно черные для внешнего наблюдателя. Поле тяготения таких тел настолько велико, что не выпускает наружу

лучей света (на языке космонавтики это означает, что вторая космическая скорость была бы больше скорости света c). Для этого необходимо лишь, чтобы масса объекта M была сосредоточена в области с радиусом, меньшим так называемого гравитационного радиуса тела (R_g):

$$R_g = 2GM/c^2 \simeq 1{,}5 \cdot 10^{-28}$$

(G — постоянная тяготения; масса M измеряется в граммах, R_g — в сантиметрах). Для Солнца гравитационный радиус — около 3 км.



Гравитационный коллапс с точки зрения наблюдателя, движущегося вместе с коллапсирующим веществом: достаточно массивное тело с течением времени сжимается под действием сил тяготения, пересекает горизонт событий и в конце концов сжимается в точку. Для внешнего наблюдателя этот же процесс завершится сжатием тела до горизонта событий. Об этом позволяет судить расположение локальных световых конусов, составленных лучами света, которые испущены в их вершинах (любой сигнал имеет скорость, не превышающую скорость света, и поэтому распространяется лишь внутри конуса от его вершины). Наклон световых конусов тем больше, чем сильнее сжалось тело. Сигнал из точек 1 и 2 может дойти до внешнего наблюдателя, а из точек 3 и 4, т. е. после пересечения телом гравитационного радиуса, не может.

Вывод Лапласа основывался на классической механике и теории тяготения Ньютона[2]. В действительности, однако, нельзя пользоваться ни той, ни другой: распространение света подчиняется законам релятивистской механики, а сильное поле тяготения описывается общей теорией относительности. Тем не менее, как это иногда случается в истории науки, обе «ошибки» Лапласа точно скомпенсировали друг друга. Соответственно, вывод о том, что удаленному наблюдателю недоступна информация о состоянии тела, находящегося внутри своего гравитационного радиуса, оказался совершенно правильным. Такое тело и получило название черной дыры, а поверхность сферы гравитационного радиуса стали называть горизонтом событий.

Гравитационный коллапс. Черная дыра может возникнуть в результате самопроизвольного неудержимого сжатия — гравитационного коллапса — тяжелого тела, масса которого больше некоторого критического значения. Хотя последнее зависит от плохо известных деталей сильного взаимодействия между частицами тела, оно вряд ли превышает утроенное значение массы Солнца $M_\odot \simeq 2 \cdot 10^{33}$ г.

Картина коллапса существенно зависит от того, «падает» ли наблюдатель вместе с коллапсирующим телом или же покоится на большом расстоянии от него. В первом случае он не отметит никаких качественных особенностей при переходе вещества через гравитационный радиус, продолжая регистрировать последующее возрастание плотности вещества вплоть до формального обращения его в бесконечность. Что же касается внешнего наблюдателя, то ему недоступно все, что происходит после перехода вещества через горизонт событий. С точки зрения такого наблюдателя, радиус сферически симметричного незаряженного коллапсирующего тела, уменьшаясь с течением времени, сравнительно быстро приближается к величине R_g — своему предельному значению. Поэтому для внешнего наблюдателя

[2] К этому выводу можно прийти, если воспользоваться законом сохранения энергии в классической механике: энергия световой корпускулы массы m на поверхности тела массы M, равная $mc^2/2 - GmM/R_g$, должна быть меньше нуля (ее минимальной энергии на бесконечности).

коллапс окончится образованием стационарной черной дыры.

Сходная картина возникает и в более общем случае, когда коллапсирует тело, обладающее вращательным моментом J, зарядом Q и т. д. Конечным результатом такого процесса также будет стационарная черная дыра. Ее состояние полностью характеризуется тремя параметрами — J, Q и массой M. Всякая иная информация о внутреннем состоянии черной дыры, касающаяся деталей строения, состава и свойств вещества, из которого оно состоит, недоступна внешнему наблюдателю. Соответствующие характеристики — дипольный электрический и магнитный моменты, параметры, связанные с сильным и слабым взаимодействиями, и многие другие — полностью «забываются» черной дырой, «сбрасываясь» ею путем испускания соответствующих волн в процессе коллапса. Такая картина была образно описана Дж. Уилером фразой: «Черная дыра не имеет волос».

Черные дыры и астрофизика. Черная дыра может, в принципе, служить источником энергии, совершая работу над движущимся в ее поле тяготения пробным телом. Если, например, медленно спускать тело с массой m на невращающуюся черную дыру, то до пересечения им горизонта событий будет совершена работа, равная энергии покоя тела[3], т. е. mc^2. Конечно, в реальных условиях при падении (аккреции) вещества на черную дыру только часть поглотится черной дырой в виде кинетической энергии падающего внутрь нее вещества. Но даже с учетом этого обстоятельства черная дыра может служить исключительно мощным источником энергии, уступая по своей эффективности лишь аннигиляции вещества и антивещества. Поэтому о черных дырах вспоминают всякий раз, когда нужно объяснить астрофизические явления, сопровождающиеся выделением огромной энергии в компактной области пространства.

По своей основной характеристике — массе — черные дыры могут быть разделены на несколько классов. Прежде всего, следует назвать звездные черные дыры с массой примерно от 3 до 100 $M_\odot$: именно они исторически рассматривались первыми и сейчас наиболее интенсивно обсуждаются в литературе. Такие черные дыры могут образоваться на конечной стадии эволюции достаточно массивных звезд в результате гравитационного коллапса их вещества, уже лишенного ядерного горючего. Если такая черная дыра возникает из звезды, входящей в состав тесной двойной системы, то аккреция на нее вещества звезды-партнера может привести к мощному рентгеновскому излучению. Сейчас уже известно немало рентгеновских источников в двойных системах, но лишь один из них — Лебедь X-1 — серьезно претендует на право оказаться черной дырой. Впрочем, окончательной ясности в этом вопросе пока нет.

Следующий класс — массивные и сверхмассивные черные дыры, имеющие массу от 10^2 до 18^8 $M_\odot$. Такие объекты могли бы рассматриваться как возможные источники энергии ядер активных галактик и квазаров. В последнее время эта гипотеза привлекла к себе внимание в связи с наблюдениями, указывающими на существование большой массы в центре галактики M 87. Однако и этот вопрос еще далек от своего решения.

Наконец, последний класс — малые, или первичные, черные дыры, масса которых меньше $3M_\odot$. Они могли бы возникнуть в результате коллапса неоднородностей сверхплотного вещества на самых ранних стадиях эволюции Вселенной. Никаких наблюдательных данных о существовании таких объектов нет. Однако уже само это позволяет сделать нетривиальные выводы о свойствах ранней Вселенной[4].

В заключение этого раздела нужно подчеркнуть, что отсутствие надежно отождествленных черных дыр среди известных пока науке небесных объектов никак не компрометирует предсказывающую их существование общую теорию относительности. Просто может оказаться, что необходимые для появления черной дыры условия реализуются в природе не слишком часто. В то же время уверенное обнаружение хотя бы одной черной дыры имело бы огромное значение для общей теории относительности, поскольку этим подтвер-

[3] С точностью до численного коэффициента это можно проверить с помощью теории тяготения Ньютона: соответствующая работа равна потенциальной энергии тела в поле тяготения черной дыры GMm/R_g, что по порядку величины составляет mc^2, поскольку $R_g \simeq GM/c^2$.

[4] См.: Новиков И. Д., Полнарев А. Г. Первичные черные дыры.— Природа, 1980, № 7, с. 12.

дились бы ее выводы, относящиеся к сильному полю тяготения (до сих пор прямой проверке подвергались лишь эффекты, предсказываемые этой теорией для слабого поля).

ЭФФЕКТ ХОКИНГА

Квантовое излучение черной дыры. Утверждение, что конечное состояние черной дыры стационарно, правильно лишь в рамках обычной, неквантовой теории тяготения. Квантовые эффекты ведут к тому, что на самом деле черная дыра должна непрерывно излучать, теряя при этом свою энергию[5].

Поле тяготения черной дыры очень велико (именно поэтому оно производит над падающим телом работу, соизмеримую с его энергией покоя). Рассматривая чисто динамическую задачу о рождении частиц в таком гравитационном поле, С. Хокинг в 1975 г. показал, что оно делает физический вакуум[6] неустойчивым: всегда присутствующие в нем виртуальные (короткоживущие) частицы превращаются в реальные (долгоживущие). Точнее говоря, в вакууме вблизи горизонта событий поле рождает пары частиц, причем одна из компонент пары уходит внутрь черной дыры, занимая состояние с отрицательной энергией, а другая, имеющая положительную энергию, вылетает наружу и может быть зарегистрирована далеким наблюдателем.

Таким образом, квантовые свойства вакуума проявляются в том, что черная дыра «обязана» излучать частицы разных сортов, в том числе кванты света. Изучая свойства этого излучения, Хокинг пришел к неожиданному заключению, что оно имеет тепловой характер: черная дыра светит точно так же, как черное тело массы M и радиуса R_g, нагретое до температуры

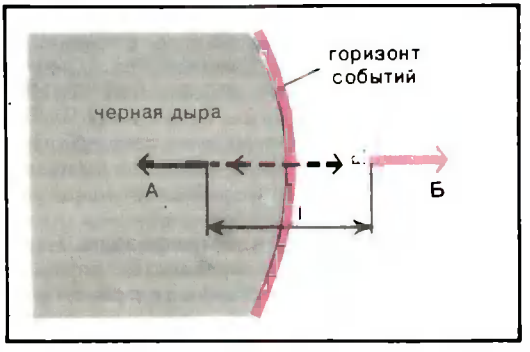
$$\Theta = \hbar c^3/8\pi kMG \simeq 10^{26}/M$$

($\hbar$ — постоянная Планка, k — постоянная Больцмана; температура Θ измеряется в градусах Кельвина, масса M — в граммах). При этом не только спектр излучения (распределение его по частотам), но и более тонкие его характеристики (например, все корреляционные функции), точно такие же, как у излучения черного тела.

Квантовое испарение черной дыры. Из приведенной формулы видно, что чем меньше масса черной дыры, тем выше температура, а значит, и интенсивность излучения. В то же время масса черной дыры в процессе излучения уменьшается (это следует из закона сохранения энергии и соответствует упомянутому выше факту, что падающая внутрь компонента пары имеет отрицательную энергию). Поэтому температура черной дыры и интенсивность ее излучения быстро растут со временем: при этом в составе излучения появляются все более тяжелые элементарные частицы, которые начинают излучаться, когда температура достигнет значения их энергии покоя. В итоге, за характерное время

$$T \simeq G^2M^3/\hbar c^4 \simeq 10^{-28}\, M^3$$

(T измеряется в секундах, M — в грам-



Рождение пары в поле черной дыры. В вакууме постоянно рождаются и аннигилируют пары виртуальных частиц, которым, однако, не хватает энергии для превращения в реальные долгоживущие частицы. В достаточно сильном внешнем поле этот недостаток энергии может быть восполнен работой, производимой полем над частицами. Для появления реальной пары с энергией E (сплошные линии), необходимо, чтобы ее компоненты, находясь еще в виртуальном состоянии (пунктир), разошлись на расстояние l, на котором работа поля равна E. Одна из компонент пары (А) падает внутрь черной дыры, другая (Б) уходит наружу, к внешнему наблюдателю. Совокупность частиц Б и есть излучение Хокинга.

[5] Поэтому само название «черная дыра», введенное еще до открытия эффекта Хокинга, потеряло свой первоначальный смысл.

[6] Физический вакуум (современный аналог понятия пустоты) — состояние, в котором отсутствуют реальные частицы. Подробнее см.: Киржниц Д. А., Линде А. Д. Фазовые превращения в микромире и во Вселенной.— Природа, 1979, № 11, с. 20.

мах) происходит полное «испарение» черной дыры[7].

Отметим, что конец этого процесса представляет собой, по сути дела, взрыв: за последние десятые доли секунды выделяется энергия порядка 10^{30} эрг. Как ни скромна эта цифра по астрофизическим масштабам, она, конечно, грандиозна — в микроскопически малой области пространства происходит такое же энерговыделение, как при взрыве миллиона мегатонных бомб.

Из формул для температуры и времени жизни черной дыры видно, что эффект Хокинга несуществен для звездных черных дыр, а реально важен лишь для черных дыр, масса которых много меньше массы Солнца. Время жизни черной дыры с массой порядка 10^{15} г (масса средней горы), как раз порядка времени, прошедшего с начала расширения Вселенной — с момента «Большого взрыва». Если бы удалось обнаружить взрывы таких черных дыр или продукты испарения черных дыр меньшей массы, то мы бы получили крайне важную информацию о том этапе развития Вселенной, когда они образовывались ($\lesssim 10^{-23}$ с после Большого взрыва). Однако даже тот факт, что до сих пор такие черные дыры не наблюдались, позволяет сделать вывод о высокой степени однородности Вселенной на этом этапе ее эволюции.

Тепловой характер излучения. Приступая к объяснению физической природы эффекта Хокинга, отметим, что если до образования черной дыры наблюдатель имел дело с определенным, как говорят, чистым квантовомеханическим (вакуумным) состоянием, то, наблюдая тепловой поток после возникновения черной дыры, он придет к выводу, что состояние системы стало смешанным. Это значит, что теперь рассматриваемую нами систему можно с определенной вероятностью застать в любом из ее возможных состояний. Соответствующая вероятность w дается термодинамической формулой Гиббса

$$w \sim \exp(-E/k\Theta),$$

где E — энергия состояния, Θ — температура.

Превращение чистого состояния вакуума в смешанное связано с тем, что последнее, как указывается в курсах квантовой механики, возникает при неполном описании системы (например, в случае, когда она представляет собой часть более крупной системы). Принципиально неполным будет и описание черной дыры внешним наблюдателем: он может зарегистрировать только частицы, идущие от черной дыры, не имея сведений о частицах, упавших внутрь этого объекта. Отсюда, однако, не следует, что возникшее в поле тяготения черной дыры смешанное состояние будет именно тепловым. Здесь мы попытаемся дать читателю представление о том, каким образом возникла формула Гиббса в расчетах Хокинга, который проводил чисто динамическое описание процесса рождения пар полем черной дыры, не помышляя о термодинамике. Для этого надо ответить на два вопроса: почему вероятность обнаружить квант излучения с энергией E зависит от этой величины экспоненциальным образом и почему показатель экспоненты пропорционален E.

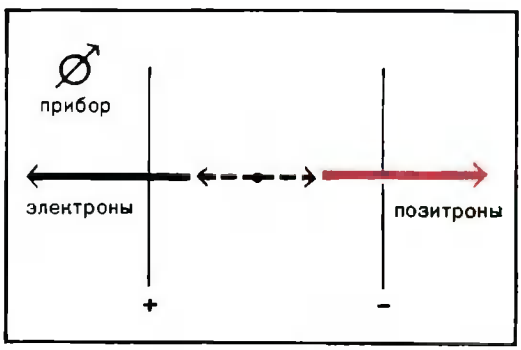
Ответ на первый вопрос состоит в том, что процесс рождения пар, лежащий в основе эффекта Хокинга, запрещен классической механикой и происходит только благодаря квантовомеханическому туннельному эффекту, который представляет собой аналог «просачивания» света в запрещенную с точки зрения геометрической оптики область при полном внутреннем отражении света. Вероятность такого рода процессов мала и описывается именно экспоненциальной функцией энергии частиц. Ответ на второй вопрос связан с фундаментальным свойством тяготения — принципом эквивалентности. Этот принцип гласит: все тела движутся в поле тяжести одинаковым образом, или, что то же, тяготеющая масса любого тела — «гравитационный заряд» — равна его инертной массе.

Действительно, вероятность обнаружить компоненты пары с энергией E на расстоянии l друг от друга дается туннельной экспонентой $\exp(lE/\hbar c)$. Эта же величина дает вероятность w рождения реальной пары с энергией E, если расстояние l таково, что работа, произведенная на нем полем, равна E. Поэтому показатель экспоненты пропорционален E/g, где g — заряд частиц. Формула Гиббса получится только в том случае, когда заряд g пропорционален E, или, что то же, инертной массе частицы. А это и означает необхо-

[7] Вопрос о том, каков окончательный продукт испарения черной дыры — исчезает она целиком, превращаясь в излучение, или же остается элементарная черная дыра малой массы,— еще далек от своего решения.

димость выполнения принципа эквивалентности.

Полезно сопоставить эффект Хокинга с процессом рождения электрон-позитронных пар в электрическом поле. И в этом случае можно осуществить неполное описание системы, сознательно регистрируя только электронную компоненту излучения и не интересуясь позитронной компонентой. Возникшее смешанное состояние также соответствует вероятности, экспоненциально зависящей от энергии (и здесь будет иметь место туннельный эффект). Однако показатель экспоненты оказывается пропорциональным не первой, а второй степени E, и излучение не похоже на тепловое. Это связано с тем, что принцип эквивалентности несправедлив для электрического поля: электрический заряд вообще не зависит от инертной массы.



Пример эксперимента с неполным описанием системы. Электрическое поле заряженного конденсатора, производя работу над виртуальными частицами вакуума, может при соответствующем значении напряженности поля превращать их в реальные, приводя к рождению пар. Их электронная компонента, направляемая полем налево от конденсатора, регистрируется прибором, а позитронная компонента остается незарегистрированной.

Стоит отметить, что и само появление горизонта событий в поле тяготения, как универсальной, не зависящей от массы пробной частицы границы, связано именно с принципом эквивалентности. В электрическом поле ничего подобного горизонту событий нет, и, в принципе, наблюдатель может иметь полную информацию о всех происходящих в этом поле процессах.

ТЕРМОДИНАМИКА ЧЕРНЫХ ДЫР

Черные дыры и термодинамика. Открытие теплового излучения черной дыры было полной неожиданностью для большинства специалистов. Казалось бы, о какой термодинамике может идти речь — ведь Хокингом была поставлена и решалась чисто динамическая задача о рождении пар в сильном поле тяготения. Между тем к моменту этого открытия уже существовало довольно много соображений, свидетельствующих о тесном переплетении физики черных дыр и термодинамики. Более того, сам эффект Хокинга вполне мог быть открыт несколькими годами раньше, причем это открытие возникло бы не как итог сложных вычислений, а в результате понимания физики явления.

По-видимому, Дж. Уилер первым обратил внимание на то, что в рамках классической теории тяготения уже сам факт существования черной дыры противоречит второму началу термодинамики, согласно которому полная энтропия физической системы — величина, характеризующая степень ее хаотичности (см. конец статьи),— или растет со временем или, по крайней мере, остается постоянной. Это следует из уже приведенного нами в начале статьи мысленного опыта, когда внутрь черной дыры падает горячее тело, обладающее некоторым запасом энтропии, в результате чего внешний наблюдатель видит уменьшение полной энтропии мира, доступного его наблюдению. На это хочется возразить, сказав, что «на самом деле» противоречия с термодинамикой нет, так как увеличилась энтропия внутренней части черной дыры. Это действительно так, но только для наблюдателя, падающего вместе с горячим телом, который не столкнется ни с нарушением термодинамики, ни с самим эффектом Хокинга. Однако системой отсчета внешнего наблюдателя, о котором и идет речь, внутренняя часть черной дыры вообще не охватывается. Поэтому для такого наблюдателя упавшее в дыру тело реально исчезает (передав, конечно, черной дыре как целому свои сохраняющиеся характеристики — энергию, или массу M, вращательный момент J и заряд Q).

Эти соображения приводят к следующей дилемме: либо термодинамика вообще запрещает существование черных дыр, либо этот объект сам по себе обладает запасом доступной наблюдению извне энтропии, который возрастает после падения на него горячего тела. Вторая возмож-

ность, которая и оказалась правильной, означает, что такое тело передает черной дыре как целому не только M, J и Q, но и свою энтропию.

Однако еще раньше, чем был сделан выбор в пользу этой возможности, появилось довольно много теоретических указаний на то, что свойства одной из характеристик черной дыры — площади ее поверхности — действительно напоминают свойства энтропии. Одно из таких указаний относится к процессам естественной эволюции черной дыры — аккреции вещества на нее, слиянию двух черных дыр в одну и т. п. при полном отсутствии обратных процессов. Оказывается, с течением времени суммарная площадь поверхности черных дыр, как и энтропия, либо возрастает, либо, в крайнем случае, остается постоянной [8].

Вообще оказалось, что аналогия между физикой черных дыр и термодинамикой простирается довольно далеко. Она относится как к конкретным термодинамическим устройствам (типа тепловой машины), так и к общим законам термодинамики, каждому из которых нашелся свой эквивалент в физике черных дыр. Есть такой эквивалент и у известного термодинамического соотношения $dE = \Theta dS$, где dE и dS соответственно изменения энергии и энтропии тела, Θ — температура[9]. Если определить связь между изменением энергии черной дыры $dE = d(Mc^2)$ и изменением ее поверхности $dF = 8\pi R_g dR_g$, то, оказывается, она имеет вид $dE = (c^2/8\pi G) g dF$, где $g = c^4/4GM$ — ускорение силы тяжести на поверхности черной дыры.

Сопоставляя приведенные выражения для dE в термодинамике и физике черных дыр, можно прийти к следующему выводу: коль скоро есть аналогия между поверхностью черной дыры F и энтропией S, то имеется и аналогия ускорения силы тяжести на поверхности черной дыры g с температурой Θ.

Температура и энтропия черной дыры. Приведенный вывод мог бы послужить подсказкой, ведущей к обнаружению эффекта Хокинга. Ведь он указывает на существование у черной дыры характеристики, подобной температуре (и, более того, дает правильную зависимость этой величины от массы M). Однако до открытия Хокингом излучения черной дыры специалисты склонялись скорее к тому, что аналогия между физикой черных дыр и термодинамикой, как она ни впечатляюща, не выходит за рамки чисто формального сходства.

По-видимому, лишь Дж. Бекенштейн, ученик Уилера, отнесся к этой аналогии серьезно, приписав черной дыре температуру и энтропию в буквальном смысле. Это позволило ему не только доказать справедливость термодинамики в физике черных дыр, но и вычислить, с точностью до численных коэффициентов, сами значения температуры и энтропии черной дыры.

С этой целью Бекенштейн рассмотрел модель тепловой машины, превращающей теплоту в работу. Ее действие основано на сбрасывании в черную дыру (холодильник) некоторого количества тепла из опускаемого к горизонту событий контейнера (нагревателя) с тепловым излучением[10] температуры Θ_0. Для последующего подъема холодного контейнера потребуется затратить меньше работы, чем было выиграно при опускании горячего, более массивного контейнера; соответствующая разность и есть полезная работа.

Выше уже отмечалось, что при опускании какого-либо тела до горизонта событий выделяется энергия, равная его энергии покоя (для теплового излучения — это содержащееся в нем количество тепла). Поэтому если бы контейнер мог быть опущен до самого горизонта событий, то полезная работа равнялась бы сброшенному в черную дыру количеству тепла: КПД такой тепловой машины был бы равен единице. А это означало бы, что черная дыра представляет собой холодное тело,

[8] Это справедливо только в неквантовой теории тяготения: эффект Хокинга ведет к уменьшению поверхности, сопровождающемуся, однако, ростом энтропии, связанной с излучением.

[9] Для простоты выписана лишь тепловая составляющая dE. Слагаемое, отвечающее работе, имеет для вращающегося заряженного тела вид $\Omega dJ + \varphi dQ$, где Ω — угловая скорость, φ — электрический потенциал. Точно такое же слагаемое возникает в выражении для изменения энергии вращающейся заряженной черной дыры.

[10] Отметим, что нечто похожее могло бы, по-видимому, реально происходить с первичными черными дырами, окруженными горячим реликтовым излучением, температура которого выше температуры черной дыры. Масса таких черных дыр должна расти со временем. Испытывать же процесс квантового испарения с уменьшением своей массы могут лишь черные дыры малой массы, более горячие, чем реликтовое излучение.

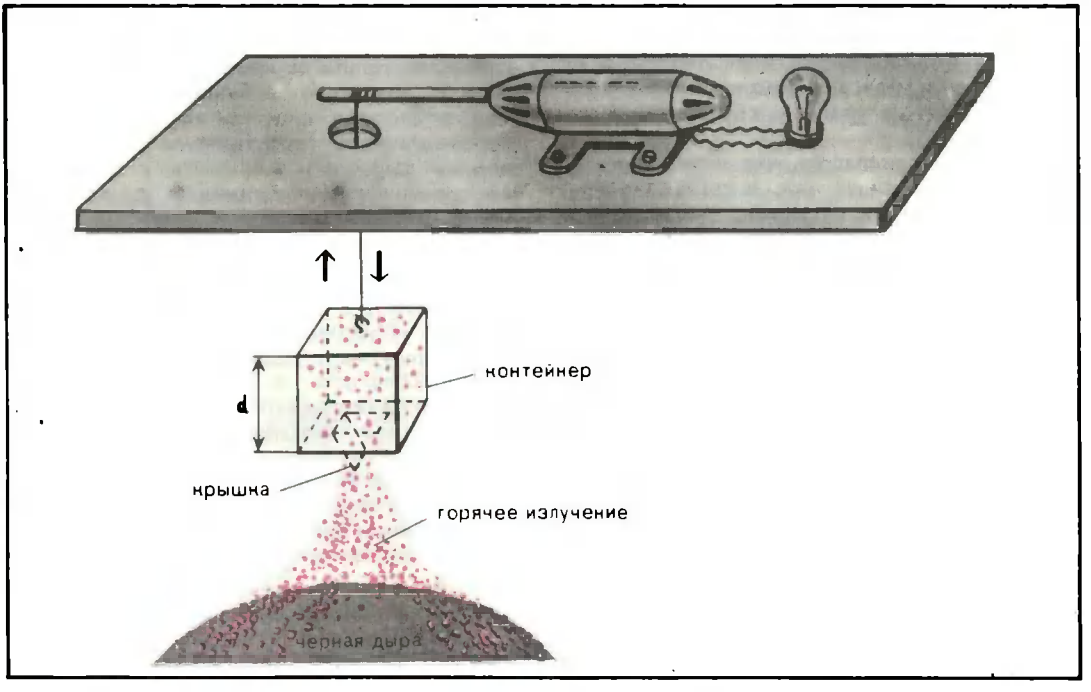
так как, по формуле Карно, КПД $= 1 - \Theta/\Theta_0$ и может быть равен единице, когда температура холодильника Θ равна нулю.

На самом деле опустить контейнер до самого горизонта событий невозможно, поскольку он должен иметь конечные размеры (причем d не может быть меньше характерной длины волны $\hbar c/k\Theta_0$ заключенного в контейнере излучения, иначе возникнут большие квантовомеханические флуктуации, препятствующие применению термодинамики). Поэтому верхняя граница нашего воображаемого контейнера не дойдет до уровня горизонта на величину порядка d, и, соответственно, доля d/R_g количества теплоты, заключенного в нем, не будет превращена в работу.

Таким образом, КПД тепловой машины окажется меньше единицы на величину

$$a\hbar c/k\Theta_0 R_g,$$

где a — некое число порядка единицы.



Тепловая машина Бекенштейна: контейнер, заполненный горячим излучением, с помощью специального устройства опускается к горизонту событий. Поле тяготения черной дыры производит при этом работу, определяемую полной массой контейнера (включая «массу», отвечающую тепловой энергии излучения). После этого крышка в дне контейнера откидывается и горячее излучение сбрасывается в черную дыру. Работа, необходимая для подъема уже облегченного контейнера, меньше работы, освобожденной при его спуске. Размер контейнера d определяет то расстояние, на которое верхняя стенка контейнера не дойдет до горизонта событий.

Из сопоставления с формулой Карно видно, что черной дыре (холодильнику) можно приписать температуру, с точностью до коэффициента совпадающую с величиной, найденной Хокингом. Если же использовать выписанные выше выражения для dE, то можно найти и энтропию черной дыры

$$S \sim kc^3F/\hbar G \sim 10^{49}\,F$$

(энтропия S измеряется в эрг/град, площадь F — в $см^2$).

Однако, получив будущую формулу Хокинга для температуры черной дыры, Бекенштейн не сделал последнего шага — не предсказал самого эффекта Хокинга. Между тем тепловое излучение черной ды-

ры — прямое и неизбежное следствие отличия от нуля ее температуры. В результате испарения черной дыры вся запасенная в ней энтропия превращается в энтропию теплового излучения.

Термодинамика и гравитационный коллапс. У читателя может сложиться впечатление, что все рассуждения о термодинамике черных дыр нужны в сущности лишь для иллюстрации результата Хокинга, найденного чисто динамическим путем. Приводимый ниже пример должен рассеять это впечатление и показать, что термодинамика черных дыр (как и обычная «земная» термодинамика) способна делать такие общие и сильные утверждения, которые вряд ли можно получить на пути динамических расчетов.

В свое время Я. Б. Зельдович показал[11], что с учетом квантовых эффектов коллапсировать способно и такое тело, масса которого меньше критического значения $3M_\odot$; однако оказалось, что соответствующая вероятность крайне мала. Термодинамика черных дыр вносит немаловажное уточнение в этот вывод, полученный задолго до открытия эффекта Хокинга и, естественно, не принимающий во внимание температуры и энтропии черной дыры.

Представим себе, что происходит коллапс Солнца, в результате которого оно превращается в черную дыру. Энтропия Солнца, вычисленная на основе термодинамики горячей плазмы, составляет 10^{42} эрг/град, а энтропия черной дыры — порядка 10^{60} эрг/град, и поэтому коллапс звезды солнечной массы в сильной степени необратим. Будем теперь уменьшать массу коллапсирующего тела. Энтропия исходного состояния пропорциональна числу частиц тела, т. е. его массе, а энтропия черной дыры — площади горизонта событий, т. е. квадрату массы. Поэтому с уменьшением массы тела разность энтропий также уменьшается, обращаясь в нуль при $M = 10^{15}$ г. Это указывает, что коллапс тел меньшей массы невозможен: в этом случае должно происходить противоречащее законам термодинамики уменьшение энтропии системы. Подчеркнем, что этот вывод относится только к коллапсу изолированного тела и не ставит под сомнение существование малых черных дыр, возникающих из неоднородностей первичного сверхплотного вещества.

ТЕРМОДИНАМИКА И ИНФОРМАЦИЯ

Информационный подход к термодинамике. Мы уже видели, насколько важно для возникновения тепловых свойств черной дыры существование горизонта событий, отделяющего область пространства, информация о которой не доходит до внешнего наблюдателя. Было показано, как можно прийти к эффекту Хокинга и термодинамике черных дыр с помощью простых термодинамических соображений, без проведения динамических расчетов рождения пар в поле черной дыры. Оказывается возможным сделать и следующий шаг — связать тепловые свойства черной дыры прямо с самим фактом существования у нее горизонта событий.

Эта возможность основана на информационном подходе к термодинамике, который восходит к классикам теории теплоты, был сформулирован Л. Сциллардом[12] и развивался многими физиками и математиками. Суть этого подхода состоит в утверждении, что существует прямая связь между недостатком информации о физической системе и величиной ее энтропии.

Будучи приложен к физике черных дыр, информационный подход прямо указывает на существование у них отличной от нуля энтропии и температуры, позволяя осуществить непосредственный переход от утверждения «внешний наблюдатель лишен информации о внутренней части черной дыры» к утверждению «такой наблюдатель увидит черную дыру как горячее тело».

С другой стороны, физика черных дыр подкрепила информационный подход, подтвердив, что недостаток информации о системе, с чем бы он ни был связан, действительно проявляется в возникновении у нее тепловых свойств. Сегодня, после открытия эффекта Хокинга и других эффектов такого же рода (см. ниже), нам известно уже несколько механизмов потери информации и соответственно несколько механизмов появления тепловых свойств у динамической системы.

Энтропия и информация. Прежде чем давать количественную формулировку информационного подхода к термодинамике, мы напомним читателю обычную картину перехода динамической системы в состояние термодинамического равнове-

[11] Зельдович Я. Б.— ЖЭТФ, 1962, 42, с. 641.

[12] Szillard L.— Zs. f. Phys., 1929, B. 53, S. 840.

сия. В процессе такого перехода система быстро забывает свое начальное состояние, что происходит вследствие «запутывания» (стохастизации) движения составляющих ее частиц[13]. Это вызывается динамическими неустойчивостями в системе, которые ведут к усилению неизбежно присутствующих малых неопределенностей начальных значений динамических переменных. В результате возникает быстрое перемешивание состояний частиц и равномерное заполнение всей доступной этой системе области значений динамических переменных.

Такое состояние системы, отвечающее равновероятности всех возможных микроскопических состояний составляющих ее частиц, описывается так называемым микроканоническим распределением. Из него автоматически следует, что любая достаточно большая часть системы описывается формулой Гиббса.

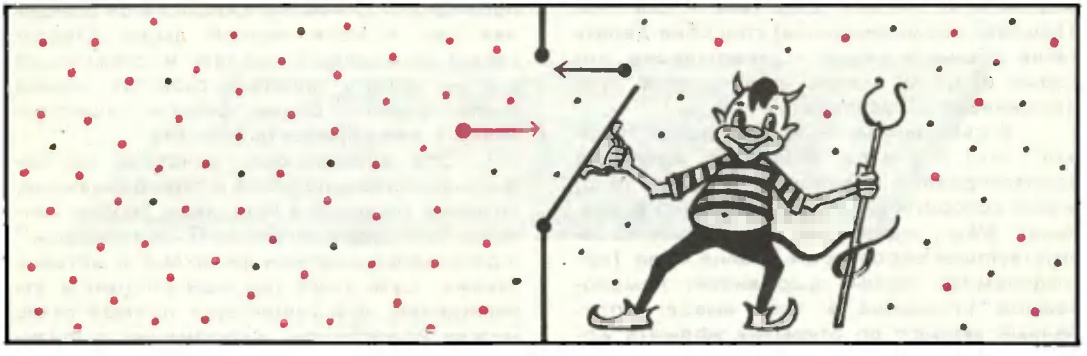
Поскольку равновесная система «забывает» свое начальное состояние, она характеризуется существенно меньшим числом параметров (энергией или температурой, давлением или объемом и т. п.), чем полное число ее степеней свободы. Поэтому состояние термодинамического равновесия вырождено: каждому набору только что перечисленных макроскопических параметров отвечает огромное число N различных микросостояний системы, реализующих этот набор. Мерой этого вырождения и служит энтропия системы

$$S = k \ln N.$$

Равновероятность различных микросостояний термодинамически равновесной системы означает, что никакое из них нельзя предпочесть другому. Поэтому, чем больше величина N, тем меньшим объемом сведений о микроструктуре системы мы располагаем, и энтропию можно считать мерой неполноты информации об истинной микроскопической структуре равновесной системы.

Мы подошли, таким образом, к информационному определению энтропии. Чтобы дать его точную формулировку, нужно ввести следующее простейшее определение изменения количества информации ΔI при некотором процессе. Если сначала имелось P равновероятных ответов на вопрос, касающийся какого-либо предмета или явления, а в конце их число стало p, то изменение информации об этом предмете или явлении есть

$$\Delta I = k \ln (P/p).$$

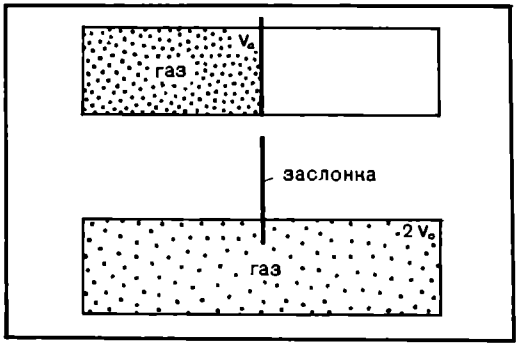


Пример управляющего устройства — так называемый демон Максвелла. Фантастическое существо (придуманное когда-то Дж. Максвеллом), пропускает быстрые молекулы газа (обозначены цветом) слева направо, не давая им вернуться обратно, а медленные — справа налево, также препятствуя их возвращению. Таким способом, казалось бы, можно создать разность температур без затраты работы и тем самым понизить энтропию системы в противоречии со вторым началом термодинамики. Однако для этого демон должен иметь информацию о скорости молекул, направлении их движения и т. д. Получение такой информации сопряжено с такими его действиями (освещение молекул и т. д.), которые сами приводят к возрастанию энтропии, перекрывающему ее понижение из-за действий демона.

[13] См.: Гапонов-Грехов А. В., Рабинович М. И. Хаотическая динамика простых систем.— Природа, 1981, № 2, с. 54; Синай Я. Г. Случайность неслучайного.— Природа, 1981, № 3, с. 72.

Если $P > p$, мы имеем дело с приростом информации (наши сведения стали более определенными), в обратном случае — с ее убылью.

Применим сказанное к процессу перехода динамической системы в состояние термодинамического равновесия. Вначале система была чисто динамической, ее энтропия равнялась нулю и мы точно знали ответ на вопрос о ее микросостоянии: $P = 1$. В конце ее энтропия увеличилась на ΔS, а число ответов на указанный вопрос



Пример, иллюстрирующий справедливость соотношения $\Delta I = -\Delta S$: необратимое расширение газа в пустоту. Первоначально газ занимает левую половину устройства — объем V_0 (в в е р х у). После поднятия заслонки газ расширяется, заполняя вдвое больший объем. В результате неопределенность в положении молекул газа (и число ответов на соответствующий вопрос) также увеличивается вдвое: $P/p = {}^1/_2$. Соответственно убыль информации о положении молекул будет определяться соотношением $\Delta I = -k\ln 2$. Из термодинамики известно, что прирост энтропии (на одну молекулу) при таком процессе есть $\Delta S = k\ln 2$, что точно соответствует равенству $\Delta S = -\Delta I$.

выросло до значения N. Поэтому $\Delta I = -k\ln N$ и мы приходим к важному соотношению:

$$\Delta S = -\Delta I.$$

Уменьшение количества информации о физической системе соответствует увеличению ее энтропии[14]. Более того, если эта потеря информации такова, что отражает равновероятность всех допустимых микросостояний, то наша система описывается микроканоническим распределением, а ее подсистемы — формулой Гиббса. Поскольку в приведенных рассуждениях никак не фигурировал конкретный механизм потери информации, сказанное в равной степени относится и к обычному горячему телу и к черной дыре. Можно добавить, что наши утверждения не противоречат обычному представлению о том, что тепло отвечает хаотическому состоянию вещества. Ведь хаос в самом широком смысле — это и есть равновероятность различных микросостояний, когда ни одно из них нельзя предпочесть другому. Одновременно это и отсутствие информации о внутренней структуре системы.

Важно подчеркнуть, что, говоря о неполноте и потере информации, мы имели в виду, конечно, объективную невозможность получить информацию о состоянии системы — невозможность, характеризующую саму систему, а не субъекта-наблюдателя. Последний мог бы просто отказаться от получения полной информации, не используя, например, всех возможностей измерительной техники. Разумеется, к такой ситуации сказанное выше ни в малейшей мере не относится. Достаточно вспомнить рассмотренный выше пример рождения пар в электрическом поле, когда отказ регистрировать позитронную компоненту излучения хотя и означает потерю информации, однако не приводит к термодинамической формуле Гиббса. В то же время рождение пар в поле тяготения, когда есть горизонт событий и потеря информации имеет объективный, неустранимый характер, ведет именно к этой формуле.

Вакуум в ускоренной системе отсчета. Возникает вопрос, не существует ли каких-то иных, отличных от обычного горячего тела и черной дыры, физических ситуаций, когда недостаток информации о внутренней структуре объекта также проявляется в отличии от нуля его температуры. Положительный ответ на этот вопрос был дан канадским физиком У. Унру[15].

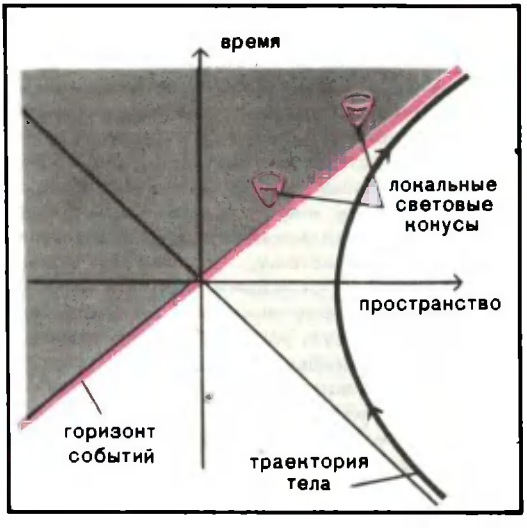
Известно, что поле тяготения в малой области пространства можно исключить переходом в ускоренную систему отсчета (пример — лифт Эйнштейна, свободно падающий в поле тяжести Земли). Это

[14] Отметим, что может иметь место и обратная ситуация, когда приобретение дополнительной информации о внутреннем состоянии системы может быть использовано для уменьшения ее энтропии, т. е. для частичного ее упорядочения. Именно на этом основана наука об управлении. Соответствующие технические устройства — регуляторы — обязательно имеют специальный орган для извлечения информации о регулируемой системе.

[15] Unruh W.— Phys. Rev., 1976, v. D14, p. 870.

наводит на мысль поискать аналог эффекта Хокинга в условиях, когда никакой черной дыры нет, но наблюдатель и приборы связаны с системой отсчета, движущейся в вакууме с ускорением.

Рассматривая для простоты случай постоянного ускорения, можно убедиться, что и в этом случае существует горизонт событий. Его появление связано с тем, что имеется пространственно-временная область, световой сигнал из которой не сможет догнать ускоренного наблюдателя.



Движение равномерно ускоренного тела в четырехмерном пространстве-времени. Траектория тела (мировая линия) есть гипербола; горизонт событий (показан цветом) отделяет область, световой сигнал из которой не может догнать ускоренное тело (об этом можно, в частности, судить по расположению изображенных на рисунке световых конусов).

Как и в случае черной дыры, дело сведется к появлению смешанного состояния. Более того, приборы, связанные с наблюдателем, покажут, что вакуум превратился в «горячую» среду с температурой

$$\Theta = \hbar a/2\pi kc.$$

Эта среда — всегда присутствующие в вакууме виртуальные частицы, которые в инерциальной системе отсчета были ненаблюдаемы (на них настроены нулевые точки наших приборов). В ускоренной системе отсчета те же приборы зарегистрируют их в виде теплового излучения.

Заметим в заключение, что в самое последнее время Унру[16] предложил систему, представляющую собой газодинамический аналог черной дыры. Представим себе в объеме газа сток, устроенный таким образом, что устремляющийся в него газ движется со сверхзвуковой скоростью. Очевидно, что информация из области, где движение сверхзвуковое, не может достичь внешнего наблюдателя, если, конечно, рассматривать нашу систему как чисто газодинамическую и отвлечься от световых явлений. Теоретическое исследование системы показывает, что она становится источником звукового излучения, имеющего тепловой характер. С точки зрения информационного подхода к термодинамике этого, конечно, и следовало ожидать, поскольку единственным переносчиком информации при таком газодинамическом описании системы служат звуковые волны.

[16] Unruh W.— Phys. Rev. Lett., 1981, v. 46, p. 1351.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ. Сборник переводов. М.: Мир, 1978.

Фролов В. П. ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ И КВАНТОВЫЕ ЭФФЕКТЫ В НИХ. — Успехи физических наук, 1976, т. 118, с. 433.

Бриллюэн Е. Л. НАУКА И ТЕОРИЯ ИНФОРМАЦИИ. М.: Физматгиз, 1960.

Поплавский Р. П. ТЕРМОДИНАМИКА ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ. М.: Наука, 1981.

Hawking S. THE QUANTUM MECHANICS OF BLACK HOLES. — Scientific American, 1977, v. 236, № 1, p. 34.

Bekenstein J. BLACK-HOLE THERMODYNAMICS.— Physics Today, 1980, № 1, p. 24.

Моделирование мембран и мембранная инженерия

Л. Д. Бергельсон

Лев Давыдович Бергельсон, член-корреспондент АН СССР, профессор, заведующий лабораторией химии липидов Института биоорганической химии им. М.М.Шемякина АН СССР. Работает в области биоорганической химии липидов и биологических мембран.

Каждая клетка окружена изумительно тонкой, прочной и гибкой мембраной, а клетки высших организмов кроме того еще и начинены различными мембранными структурами. От состава и молекулярной организации мембран зависит вся жизнь клетки, ее «восприятие» окружающего мира, отношения с другими клетками, действие на нее высших факторов и т. д. Отсюда понятен и тот огромный интерес, который вызывает сегодня изучение мембран.

Моделирование мембран ставит своей целью создание искусственных мембранных структур для изучения сложных процессов, протекающих в биологических мембранах. В настоящее время мы можем говорить о появлении целой области исследований, так называемой мембранной инженерии, которая ставит перед собой задачу видоизменять живую мембрану так, чтобы направленно воздействовать на разные уровни клеточного поведения. В этом смысле мембранную инженерию можно сопоставить с генетической инженерией, основанной на успехах современной молекулярной биологии.

Чем глубже мы входим в область молекулярной биологии, тем отчетливее прослеживается поразительное единство молекулярных основ жизненных процессов у организмов, находящихся на разных ступенях эволюции. Кишечная палочка и человек усваивают галактозу и глюкозу с помощью одних и тех же ферментативных реакций; генетический код, механизмы репликации ДНК и передачи генетической информации универсальны для всех клеток и организмов. В последнее время становится очевидным, что так же универсальны принципы организации и функционирования клеточных мембран.

На всех уровнях эволюции мембраны любой клетки, каково бы ни было их функциональное назначение, образованы с участием одной и той же группы веществ — так называемых фосфолипидов. Молекулы всех фосфолипидов построены по единому принципу: полярная «головка», образованная из производной фосфорной кислоты, и хвост, состоящий из длинных углеводородных цепей (обычно двух), включающих от 16 до 24 атомов углерода. Структуры полярных головок и неполярных цепей могут различаться. Основные варианты полярных головок образуются путем этерификации фосфатной группы аминоспиртами (холин, этаноламин), серином, глицерином, инозитом и их производными. Структуры неполярных цепей отличаются не только числом углеродных атомов, но и степенью ненасыщенности и разветвленности, в результате чего возможно огромное количество ком-

бинаций — так называемых молекулярных видов. Мы до сих пор не знаем, зачем природе понадобилось такое разнообразие фосфолипидных структур. Но тот факт, что в одной-единственной мембране может сосуществовать более сотни неодинаковых по строению фосфолипидов в соотношениях, характерных для каждого типа мембран, показывает, что мембранные фосфолипиды каким-то образом участвуют во многих клеточных процессах.

Наличие у молекул фосфолипидов двух частей — полярной и неполярной — имеет прямое отношение к их способности образовывать мембранные структуры. Фосфолипиды плохо растворяются как в воде (препятствуют неполярные цепи), так и в неполярной среде (мешают полярные головки). Самое энергетически выгодное для них расположение — слой, состоящий из одного ряда молекул (мономолекулярный) и находящийся на поверхности раздела фаз: в этом случае цепи погружены в неполярную фазу. Такой же мономолекулярный слой липидов образуется на поверхности раздела вода—воздух, только в этом случае неполярные цепи направлены в воздух.

В водной среде молекулы фосфолипидов собираются в микроскопические капельки — мицеллы, у которых полярные головки обращены наружу, а неполярные цепи — внутрь. Если же липидов в воде достаточно много, то мицеллы слипаются и возникает сплошной бимолекулярный (двойной) слой. Наслаиваясь друг на друга, они образуют многослойные липидные структуры. Если взвесь осторожно перемешивать или встряхивать, то эти структуры соединяются в сферические частицы (липосомы), состоящие из ряда концентрических бимолекулярных липидных слоев, разделенных водным пространством. Расстояние между слоями равно всего лишь 15—20 Å, а толщина каждого слоя, в зависимости от природы фосфолипида, составляет 65—75 Å. Форма и размер (от 5 до 50 мкм) многослойных липосом зависят от многих факторов, таких как кислотность среды, концентрация неорганических солей и др. Более простые структуры формируются в результате воздействия на водно-липидную смесь ультразвуком. При этом образуются маленькие пузырьки — везикулы, или, как их называют, «озвученные липосомы», состоящие из одной бимолекулярной липидной оболочки и внутреннего водного пространства. Размер озвученных липосом — от 250 до 300 Å, т. е. они сравнимы с субклеточными частицами.

Кроме того, известны и крупные (однобислойные) липосомы, состоящие из одного бимолекулярного слоя. Их можно получить различными методами. Например, раствор липида в летучем органическом растворителе (эфире или спирте) впрыскивают с помощью микрошприца в воду при температуре, несколько превышающей температуру кипения растворителя. При этом растворитель испаряется, а оставшиеся липиды ассоциируются, образуя однобислойные липосомы с диаметром от 600 Å до нескольких микрометров. Другой способ состоит в том, что липиды, растворенные в воде с помощью органических поверхностно-активных веществ (детергентов), помещают в мешочек из полупроницаемого пористого материала. Диаметр пор подбирают так, чтобы через них свободно проходили молекулы воды и детергента, но не липосомы. Этот процесс, называемый диализом, также приводит к образованию крупных однобислойных липосом, содержащих, правда, некоторое количество детергента.

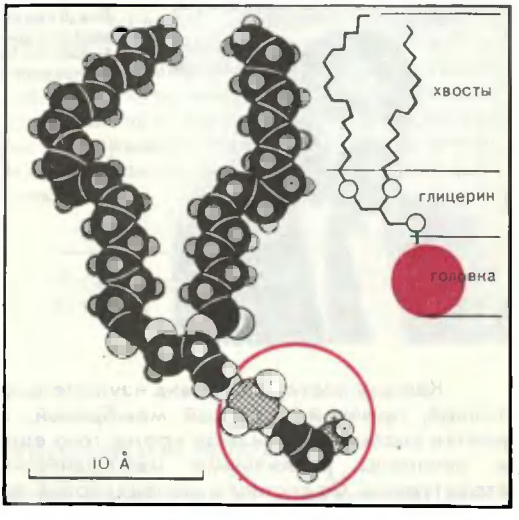
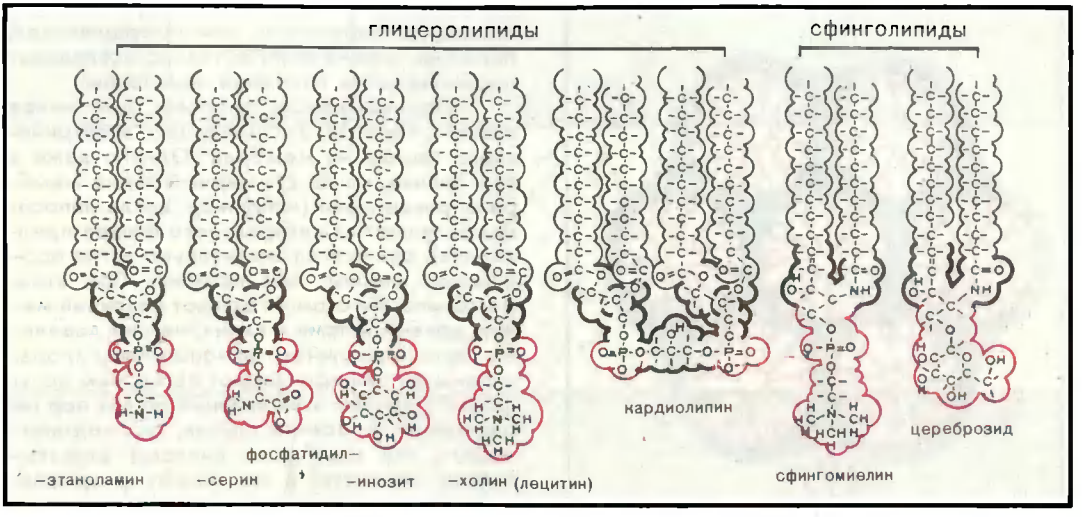


Схема строения фосфолипида и основные типы мембранных липидов.

Крупные липосомы от малых (озвученных) существенно отличаются способом упаковки липидов. В крупных липосомах молекулы липидов располагаются так, что их цепи параллельны друг другу. Можно сказать, что пространство, находящееся в распоряжении каждой липидной молекулы, представляет собой цилиндр и что все цилиндры ориентированы параллельно. В случае озвученных липосом геометрия иная. Из-за боль-

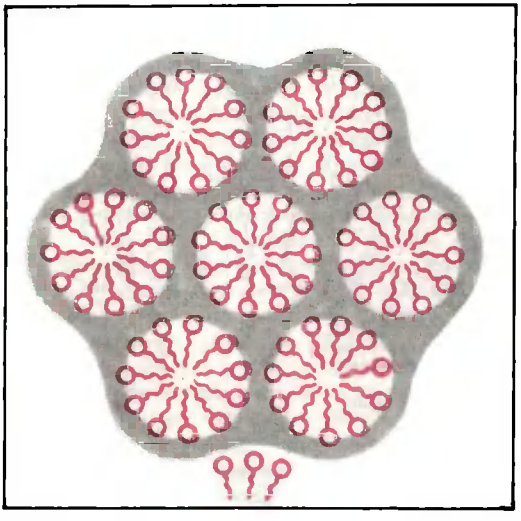
шой кривизны внутренний монослой мембраны искривлен больше, чем наружный, поэтому общая площадь наружного монослоя примерно в два раза больше площади внутреннего слоя и пространство, занимаемое каждой липидной молекулой, представляет собой не цилиндр, а усеченный конус. При этом липидные молекулы уже не могут выстраиваться параллельно, и их упаковка в малых липосомах получается более рыхлой, чем в больших. Молекулы наружных липидов упакованы более плотно, чем молекулы внутренних.



Кроме того, усеченные конусы, образуемые молекулами в наружном и внутреннем слое, неодинаковы: у внутренних молекул полярные головки имеют меньший простор, чем концевые группы неполярных цепей; у наружных — наоборот. Все это приводит к тому, что в озвученных липосомах разные фосфолипиды распределяются несимметрично между наружным и внутренним монослоями: на наружной поверхности пузырька преобладают молекулы с большими головками и более ненасыщенными цепями. Определенную роль в распределении фосфолипидов играет, конечно, и их заряд (на внутренней поверхности отталкивание между одноименными зарядами больше, чем на наружной). Интересно, что во многих случаях «спонтанное» распределение липидов в озвученных липосомах совпадает с распределением в биологических мембранах. Так, озвученные липосомы, состоящие из лецитина и аминофосфатидов, имеют такую же структуру, что и эритроциты и вообще плазматические мембраны клеток млекопитающих (лецитин — преимущественно снаружи, аминофосфатиды — главным образом внутри). Ясно, что озвученные липосомы представляют собой ценную модель для изучения поведения фосфолипидных участков клеточных мембран; получение липосом и есть первый этап моделирования.

Следующий принципиально важный шаг на этом пути был связан с включением в липосому различных белков, т. е. с получением искусственных липид-белковых структур, называемых протеолипосомами. Этот этап был довольно трудоемким. Дело в том, что большинство мембранных белков плохо растворимы в воде, и поэтому для их растворения используют детергенты. Однако такие солюбилизированные белки плохо внедряются в липосомы. К тому же детергенты сами включаются в липидный бислой, изменяя его свойства. Если же предварительно отделить детергенты от белков, то они слипаются, образуя крупные агрегаты. Во избежание агрегации смесь озвученных липидов и солюбилизированных белков подвергают диализу. Недостаток этой процедуры состоит в том, что она протекает медленно, иногда в течение многих дней. При продолжительном же контакте с детергентами многие белки теряют свою активность. Кроме того, диализ эффективно удаляет детергенты только в том случае, если размеры их молекул невелики, а такие детергенты не всегда пригоды для солюбилизации мембранных белков. От этих недостатков свободен другой метод, при котором смесь липидов и солюбилизированного детергентом белка быстро разбавляют большим объемом во-

ды. При этом белки могут «отпустить» связанные с ними молекулы детергента и сами встраиваются в липидную мембрану. К сожалению, далеко не все белки отдают «свои» детергенты при разведении, поэтому область применения этого метода довольно ограничена. В некоторых случаях протеолипосомы удается получить без детергентов путем совместного озвучивания белков и липидов. Однако и этот метод имеет свои минусы: многие белки при озвучивании теряют активность (т. е. частично денатурируют). К тому же по причинам, пока еще мало



Мицеллы липидов в воде.

понятным, эта процедура плохо воспроизводится.

Несмотря на все перечисленные трудности, многие лаборатории успешно получают протеолипосомы, и число индивидуальных белков, включенных в липосомы, в настоящее время перевалило за 100. К ним относятся не только многие ферменты, функция которых связана с мембранами, но и белки-рецепторы, белки, образующие мембранные поры, и иммуноглобулины. Включение таких белков в липосомальную мембрану дало возможность моделировать поведение клеточных мембран в различных физиологических условиях.

Самое привлекательное свойство липосом состоит, пожалуй, в том, что их можно «начинять» различными веществами и исследовать проницаемость бимолекулярного слоя для ионов или молекул. Чтобы получить начиненные липосомы, фосфолипиды помещают для набухания не в чистую воду, а в раствор с «начинкой». При этом липосомы захватывают вместе с водой также и нужное вещество. Например, если фосфолипиды набухали в растворе глюкозы, то, отмыв затем липосомы от незахваченной глюкозы и поместив их в раствор хлористого калия, можно получить систему из двух растворов (глюкозы и хлористого калия), разделенных липидной мембраной. Следя за изменением концентрации глюкозы и ионов калия во внутреннем и наружном растворе, за набуханием или сморщиванием липосом, можно количественно исследовать проницаемость липидной мембраны.

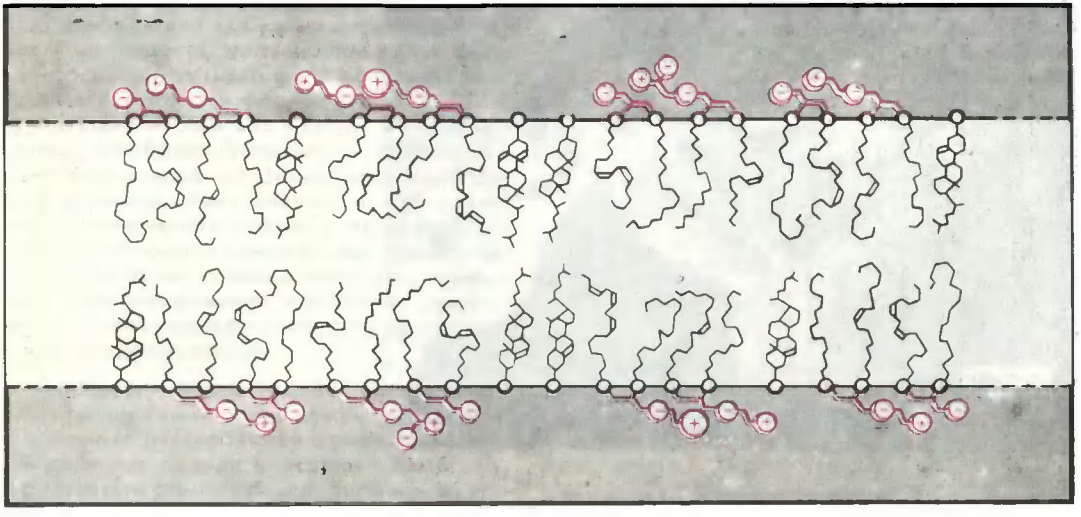
Проницаемость липосом для ионов зависит, конечно, от суммарного электрического заряда их мембран. Однако даже в том случае, когда суммарный заряд мембраны равен нулю (например, когда липосомы получают из нейтрального фосфатидилхолина), они всегда значительно легче пропускают анионы, чем катионы. При этом мембраны липосом не делают различий между ионами натрия и калия, но они довольно хорошо различают анионы. Ионы хлора, например, они пропускают легче, чем ионы фтора. Причины этих явлений до сих пор не разгаданы. Во всяком случае, они подтверждают, что мембраны липосом действительно замкнуты и не имеют разрывов.

Встреча липосомы с клеткой может привести к четырем жизненно важным для клетки событиям. Первый вид взаимодействия липосомы с клеткой — адсорбция. Липосома просто адсорбируется на клеточной поверхности. Часть таких адсорбированных липосом можно отделить от клеток путем многочисленных промывок (неспецифическая адсорбция), однако другие остаются прочно связанными и отрываются от поверхности клетки только после ее обработки протеолитическими ферментами (специфическая адсорбция). По-видимому, липосомы связываются с клеткой через белки, расположенные на клеточной поверхности (некоторые исследователи называют их липосомальными рецепторами). Второй вид взаимодействия — эндоцитоз. Клетка как бы целиком заглатывает липосомы, и они, как и другие поглощаемые клетками частицы, попадают в основном в лизосомы — внутриклеточные образования, где сосредоточены различные литические ферменты, в том числе и расщепляющие фосфолипиды. Третий вид взаимодействия липосом с клетками — слияние, при котором мембрана липосом

становится частью клеточной мембраны. И, наконец, четвертая форма возможного взаимодействия — обмен липидами между липосомами и клеткой. Такой обмен может состояться либо при временном контакте липосом с клетками, либо даже без контакта, через окружающую среду. В последнем случае процесс можно многократно ускорить с помощью липидпереносящих белков.

Какой из описанных четырех видов взаимодействия преобладает — зависит от многих факторов, в том числе от агрегатного состояния липидов. Если липосомы «твердые», то они главным образом адсорбируются и поглощаются, если же они «жидкие», то преобладают слияние и обмен.

Какие возможности открывают все эти процессы для воздействия на клетки? Во-первых, в липосомы можно включить различные вещества, которые сами по себе не проходят через клеточные мембраны. Таким контрабандным способом можно вводить в клетку чужие молекулы: доставлять недостающие или несвойственные ей ферменты, различные стимуляторы или ингибиторы клеточных процессов (в том числе циклический аденозинмонофосфат), дополнительные источники энергии (аденозинтрифосфорную кислоту), генетический материал (полинуклеотиды, ДНК, РНК) и даже целые вирусы и клеточные ядра. В этом смысле липосомы можно уподобить троянскому коню, с той разницей, что липосомальный троянский конь по желанию экспериментатора может доставить внутрь клетки не только врагов, но и друзей и помощников.



Сплошной бимолекулярный слой, образующийся в воде при высокой концентрации липидов.

Многослойная структура липидов в воде.

Другой вид воздействия на клетку, осуществимый с помощью липосомы, — это модификация самой клеточной мембраны. Используя процессы слияния мембран и обмена липидными молекулами, можно менять вязкость и проницаемость мембраны, ее заряд, включать в нее дополнительные или новые ферменты, ионные каналы, антигены и рецепторы.

Таким образом, взаимодействие липосом с клетками открывает новый способ целенаправленного изменения свойств клетки, который по аналогии с «генной инженерией» и «клеточной инженерией» можно на-

Электронная микрофотография многослойной липосомы. Светлые линии соответствуют бимолекулярным слоям фосфолипидов, темные — водным промежуткам.

звать «мембранной инженерией». Насколько эффективны такие манипуляции?

Попытаемся ответить на этот вопрос на примере слияния клеток с озвученными, т. е. маленькими монобислойными, липосомами, имеющими в среднем диаметр в 250 Å. Объем такого пузырька ничтожно мал — примерно $2 \cdot 10^{-21}$ л. Число липосом, поглощаемых одной клеткой, зависит от многих факторов, но в среднем можно считать, что оно составляет около 100 тыс. липосом на клетку. Таким образом, в результате одноразовой обработки в каждую клетку можно вводить до $2 \cdot 10^{-16}$ л липосомальной жидкости. Если концентрация растворенного в этой жидкости вещества составляет С миллимолей на литр, то число молекул, попадающих внутрь клетки, может дойти до $10^5 \cdot C$. Например, при использовании сантимолярного раствора в каждую клетку можно доставить более 1 млн молекул, которые без липосом не могли проникнуть в клетку. Что касается эффективности слияния, то в качестве исходного параметра для его оценки следует учесть число фосфолипидных молекул, формирующих липосому. Оно составляет в среднем 3 тыс. молекул на одну озвученную липосому. Поэтому максимальное число фосфолипидных молекул, которые могут быть вставлены в мембрану одной клетки в результате слияния с липосомами, равно 300 млн. Такого полного слияния на практике достичь не удается, и тем не менее, поскольку число рецепторов или каналов многих клеток исчисляется всего лишь трех-, четырех- или пятизначными цифрами, ясно, что эффективность операции может быть весьма значительной.

Слияние липосом с клеткой осуществляется не равномерно по всей поверхности клетки, а на отдельных ее участках. Поэтому локальные изменения свойств клеточной мембраны в результате слияния могут быть очень большими. Важно также, что слияние липосом с клетками может изменить форму самой клетки. Так, округлые эритроциты под влиянием липосом становятся игольчатыми («эхиноцитами», от лат. echinus — еж), а фибробласты покрываются многочисленными микроворсинками. Инте-

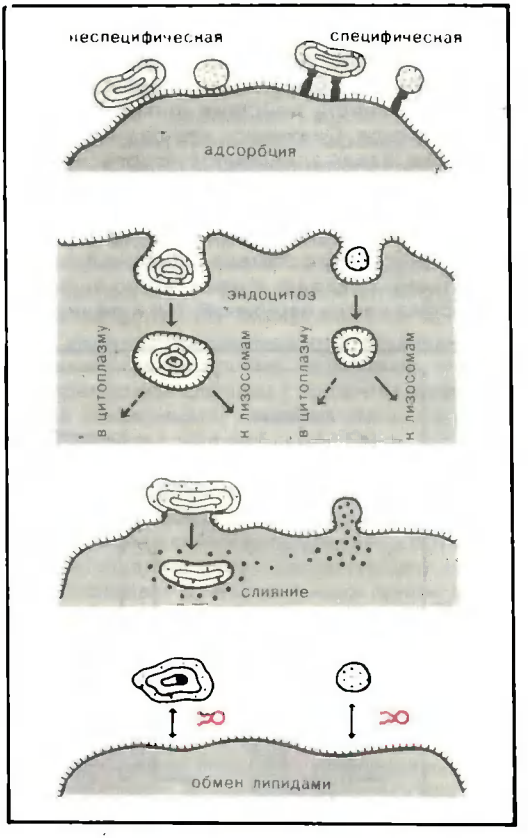
ресно, что образование микроворсинок индуцируется только «жидкими», но не «твердыми» липосомами.

Слияние липосом с клетками затрагивает не только клеточную мембрану. В результате слияния содержимое липосом попадает в цитоплазму. И что особенно важно, при таком способе доставки поступающий в цитоплазму материал, по всей видимости, минует лизосомы и, следовательно, сразу не разрушается клеткой.

Важно подчеркнуть, что относительная эффективность подобных манипуляций зависит от множества факторов: состава среды (особенно концентрации ионов кальция), присутствия так называемых фюзогенов (т.е. веществ, индуцирующих слияние мембран), агрегатного состояния, заряда и состава липосом (найдено, например, что присутствие небольших количеств гликолипидов в мембране липосом способствует их слиянию с клетками). Заметную роль играют и размеры самих липосом, т. е. отношение их поверхности к объему. Ясно, что увеличение этого отношения (уменьшение диаметра липосом) должно повысить эффективность модификации клеточной поверхности, а уменьшение — повысить эффективность микроинъекции.

Обычно липосомы обмениваются с клеткой липидами очень слабо, так как липиды плохо растворяются в воде и поэтому не склонны покидать «свою» мембрану. В результате обмен происходит лишь во время непродолжительного физического контакта липосом с липидными участками клеточной мембраны. Процесс обмена может быть, однако, многократно ускорен с помощью специальных липидпереносящих белков.

Под названием «липидпереносящие белки» объединяют группу довольно разнородных внутриклеточных белков, способных переносить липиды от одной мембраны к другой. Предполагают, что в живой клетке эти белки переносят липиды от места их биосинтеза к центрам сборки мембран (например, от эндоплазматической сети к митохондриям). Некоторые белки способны переносить только один тип фосфолипидов, например фосфатидилхолин; другие менее разборчивы, но все же обычно предпочитают один из фосфолипидов другим. Недавно Э. В. Дятловицкая в нашей лаборатории обнаружила особый липидпереносящий белок, который предпочитает всем другим липидам сфингомиелин. Интересно, что этот белок существует только в опухолевых и эмбриональных клетках; в нормальных же

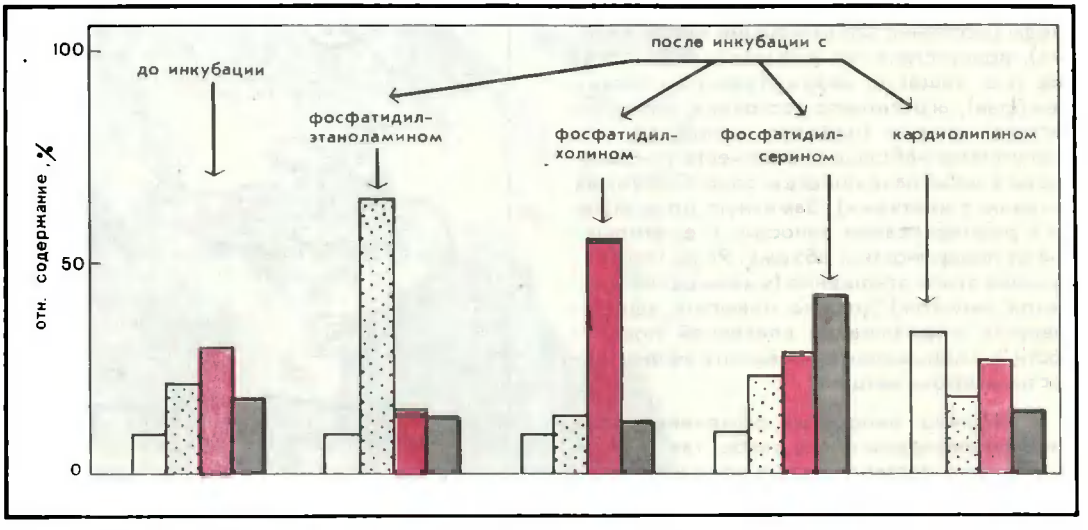


Четыре способа взаимодействия липосом с клетками.

клетках он содержится лишь в виде следов или вовсе отсутствует. Но какова бы ни была специфичность белков, все они могут взаимодействовать с мембраной-мишенью двумя различными способами: либо белок, отдав мембране свой липид, увозит вместо него другой, либо он отправляется в обратный путь незагруженным. Очевидно, что в последнем случае конечным результатом действия белка будет суммарный перенос липидов от донорной мембраны на акцепторную (мишень). Преобладание того или иного механизма зависит от ряда факторов, в том числе от свойств и относительных количеств самих мембран. Правильный подбор этих факторов дает возможность изменять в широких пределах липидный состав биологических мембран. Например, инкубируя митохондрии с липосомами и липидпереносящими белками, можно обогатить

мембрану митохондрий тем или иным фосфолипидом.

Несколько лет назад в нашей лаборатории впервые была обнаружена одна важная особенность действия липидобменивающих белков. Оказалось, что во многих случаях они взаимодействуют строго избирательно с наружной поверхностью мембраны, не затрагивая липиды, находящиеся на ее внутренней поверхности. В отличие от межмембранного обмена, слияние липосом с клетками приводит к изменению липидного состава как на наружной, так и на внутренней поверхности мембраны. Таким образом, используя процессы обмена или слияния, экспериментатор может менять топологическую асимметрию мембран и изучать зависимость мембранных ферментов или рецепторов от их липидного окружения.



Изменение состава основных фосфолипидов митохондрий при инкубации с липосомами в присутствии липидпереносящих белков.

кардиолипин

фосфатидилэтаноламин

фосфатидилхолин

фосфатидилсерин + фосфатидилинозит

Все сказанное выше относится к взаимодействию липосом с клетками, вернее, с культурами клеток, выращенными в пробирке. Естественно возникает вопрос: можно ли использовать липосомы для воздействия на целый организм? Можно ли применять их в качестве медицинских капсул для доставки различных препаратов в опреленные органы и ткани, для исправления дефектов клеточных мембран, модификации иммунного ответа организма и т. д.? Несмотря на то что эти вопросы интенсивно изучаются во многих лабораториях мира, на них пока нет однозначного ответа. Установлено, что липосомы в качестве лекарственного средства обладают по крайней мере тремя привлекательными качествами: они нетоксичны (если, конечно, липиды правильно подобраны), они полностью включаются в обмен и они способны преодолеть некоторые из анатомических барьеров организма (например, липосомы, введенные через рот или внутрибрюшинно, попадают в кровь в ненарушенном виде вместе со своим содержимым; с другой стороны, они, видимо, плохо преодолевают барьер между кровью и мозгом).

Вместе с тем, прежде чем использовать липосомы для лечения, в каждом отдельном случае необходимо выяснить очень много разных вопросов. Упомянем лишь некоторые из них.

Первый вопрос: как вводить липосомы? В опытах на животных их чаще всего вводят внутривенно; при этом может возникнуть опасность закупорки сосудов (эм-

болии). В принципе возможны другие способы введения липосом: через рот, внутрибрюшинно, внутримышечно, подкожно, непосредственно в опухоль и т. д. Дальнейшая судьба липосом в организме при каждом из этих способов введения требует тщательного изучения.

Другой вопрос: как долго липосомы остаются в организме целыми и через сколько времени их содержимое поступает в клетку? Время вытекания «начинки» липосом зависит от самых разнообразных факторов, таких как тип, размер, вязкость и заряд липосом, свойства включенного в них материала и т. д. В зависимости от действия этих факторов время жизни препарата внутри липосом и, вероятно, самой липосомы колеблется от нескольких секунд до нескольких месяцев.

И, наконец, самый, может быть, важный вопрос: как адресовать липосомы, чтобы они направились в определенный орган или ткань? Когда липосомы вводят внутривенно, они уже через несколько минут выводятся из кровотока, накапливаясь в печени и селезенке. Доставка липосом в другие органы — серьезная проблема. Ее пытаются решить самыми разными способами. Один из наиболее очевидных подходов — блокада эндоцитозной активности печени и селезенки (с этой целью, например, можно сначала вводить большую дозу «пустых» липосом и, когда печень «наестся досыта», добавить липосомы, нагруженные препаратом). Другая возможность — включить в липосомы специфические антитела, с помощью которых они удерживались бы клетками-мишенями. Предлагались и более экзотические способы. По одному из них, в липосомы наряду с лекарственным препаратом включают мелкодисперсное железо и направляют их в нужное место с помощью магнита. Другой проект основан на том, что липосомы становятся проницаемыми в момент фазового перехода их липидов. Липосомы изготовляют из точно подобранных липидов, температура фазового перехода которых несколько превышает температуру организма. После введения липосом в нужное место (например, в опухоль), его прогревают до температуры фазового перехода липосом. В опытах на животных оказалось, что именно в подогреваемом месте липосомы быстрее отдают свое содержимое.

Хотя нерешенных проблем пока больше, чем решенных, ясно, что липосомная терапия открывает замечательные перспективы. Перечислим лишь несколько примеров, где получены обнадеживающие результаты в опытах на животных. По-видимому, липосомы могут с успехом использоваться в химиотерапии рака. Как правило, все противораковые препараты высокотоксичны. Для ряда таких препаратов терапевтический индекс (т. е. отношение терапевтического и токсического эффектов) можно существенно улучшить, вводя препараты в составе липосом. Опыты, проведенные в нашей лаборатории совместно с коллективом, возглавляемым Л. А. Пирузяном (Межведомственный центр по биологическим испытаниям химических препаратов), показали, что высокоактивные против некоторых опухолей препараты платины становятся намного менее токсичными, когда их вводят в виде липосом. Этот эффект вызван тем, что при введении цитотоксичных производных платины в свободном виде в первую очередь поражаются почки. В липосомальной же форме распределение препарата в организме совершенно иное: основная его масса сразу попадает в печень, минуя почки, в результате чего острая токсичность препарата снижается в несколько раз. При этом противоопухолевая активность несколько уменьшается, но все еще остается высокой. В результате удается затормозить или даже приостановить рост опухоли и значительно продлить жизнь больного животного.

Липосомы могут применяться как стимуляторы иммунитета при изготовлении вакцин, а также в качестве неиммуногенных носителей антигенов для стимуляции определенной популяции лимфоцитов. При использовании таких иммуногенных липосом удается получить значительно менее токсичные и более активные антисыворотки, чем в случае, когда в качестве антигенов применяются «живые» или «убитые» возбудители заболевания.

Несмотря на все эти интересные возможности, очевидно тем не менее, что липосомной терапии предстоит еще долгий и тернистый путь, прежде чем перед ней откроются ворота клиники.

Но сегодня можно с уверенностью сказать, что липосомы прочно вошли в арсенал молекулярно-биологических исследований; именно они составили методическую основу всей мембранной инженерии и стали ценным инструментом, позволяющим по желанию исследователя изменять внешнюю оболочку клетки и регулировать ее поведение.

Магнитные поля и химические реакции

Ю. Н. Молин

Юрий Николаевич Молин, член-корреспондент АН СССР, директор Института химической кинетики и горения СО АН СССР. Область научных интересов — физика и химия свободных радикалов. Автор монографии: Спиновый обмен (в соавторстве с К. И. Замораевым и К. М. Салиховым). Новосибирск: Наука, 1977.

Может ли внешнее магнитное поле оказать заметное воздействие на элементарный акт химического превращения? До недавнего времени отрицательный ответ на этот вопрос практически не вызывал сомнений. Для этого имелись серьезные теоретические основания. Действительно, энергия, которую приобретают молекулы в лабораторных полях напряженностью 1—10 тыс. гаусс, значительно меньше тепловой энергии взаимодействующих партнеров. Поэтому магнитное поле не может существенно изменить величину потенциального барьера, который приходится преодолевать реагентам в ходе химического превращения. Если же в реакции участвуют молекулы с ненулевыми магнитными моментами (парамагнитные частицы), то сильное магнитное поле может их поляризовать. Такое ориентирующее влияние внешнего поля сказывается на взаимодействии частиц друг с другом, поскольку оно зависит от взаимной ориентации магнитных моментов. Однако в лабораторных полях степень поляризации слишком мала и не приводит к заметным эффектам. Соображения такого рода служили достаточно серьезным основанием, чтобы ставить под сомнение появляющиеся изредка сообщения об экспериментально наблюдаемых эффектах, которые к тому же не выдерживали тщательной проверки.

Правда, раньше уже публиковались достоверные результаты, свидетельствующие о влиянии магнитного поля на отдельные элементарные физические процессы. Так, еще в начале века было обнаружено, что магнитное поле тушит люминесценцию иода в газовой фазе. Было установлено также влияние магнитного поля на скорость электрон-позитронной аннигиляции в атоме позитрония, аналоге атома водорода. Однако детальное изучение природы названных явлений указывало скорее на их экзотический характер, чем на то, что такие механизмы могут играть роль в каких-либо химических процессах.

Положение дел стало меняться полтора десятка лет назад, когда появились первые результаты исследований, которые поставили под сомнение общепринятую точку зрения. Так, в 1965 г. в Институте химической физики АН СССР Е. Л. Франкевич с сотрудниками обнаружили влияние магнитного поля на фотопроводимость в молекулярных кристаллах[1]. В 1967 г. было

[1] Франкевич Е. Л., Балабанов Е. И.— Письма в ЖЭТФ, 1965, т. 1, вып. 6, с. 33.

открыто явление химической поляризации ядер в реакциях с участием свободных радикалов[2]. Это явление допускало принципиальную возможность воздействия магнитных полей на такие реакции, хотя казалось, что ожидаемые эффекты должны быть невелики. Наконец, сотрудниками Сибирского отделения АН СССР в 1972 г. были получены прямые экспериментальные доказательства воздействия магнитного поля на реакции с участием свободных радикалов и вскрыта природа этих эффектов[3].

В конечном итоге, проведенные исследования привели к выводу, что магнитное поле может оказывать влияние на элементарные химические реакции парамагнитных частиц, в частности на весьма распространенные в химии реакции свободных радикалов. При этом было установлено, что механизм такого влияния объясняется не изменением энергии реагентов и не поляризацией магнитных моментов молекул внешним полем. В чем же причина магнитных эффектов, которые наблюдаются при энергиях взаимодействия, значительно меньших энергии теплового движения?

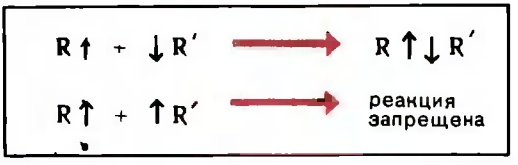
ПРИРОДА МАГНИТНЫХ ЭФФЕКТОВ В ХИМИИ

С химической точки зрения важнейшим свойством радикалов является их высокая реакционная способность как в реакциях друг с другом, так и в реакциях с устойчивыми молекулами. Причина высокой реакционной способности заключается в том, что свободный радикал имеет ненасыщенную свободную валентность, или, другими словами, не участвующий в химической связи, неспаренный, электрон[4]. Благодаря этому радикал обладает электронным спиновым моментом $S = {}^1/_2$ и соответствующим магнитным моментом.

Магнитные эффекты возникают на стадии рекомбинации двух радикалов[5]:

$$\dot{R} + \dot{R}' \rightarrow RR'.$$

Реакция рекомбинации, как правило, не требует термической активации. Однако ее вероятность существенным образом зависит от взаимной ориентации спинов тех радикалов, которые оказались по соседству и образуют, как принято говорить, радикальную пару. Реакция рекомбинации возможна лишь в том случае, когда спины радикалов антипараллельны. При этом суммарный спин пары равен нулю, т. е. пара находится в синглетном состоянии. Когда спины обоих радикалов параллельны (пара находится в триплетном состоянии), по законам квантовой механики рекомбинация запрещена и радикалы расходятся, не вступив в реакцию друг с другом. Этот запрет связан с тем, что в продукте рекомбинации электроны, участвующие в химической связи, имеют антипараллельные спины.



Спиновый запрет в радикальных реакциях.

Спиновое состояние радикальной пары и, следовательно, ее дальнейшая судьба определяется способом ее образования. При случайной встрече двух радикалов в растворе взаимная ориентация их спинов произвольна. Такая пара называется некоррелированной. Как видно из самого названия, триплетное состояние в действительности — совокупность трех спиновых состояний: T_+, T_0, T_-, отличающихся направлением моментов относительно любого заданного направления. Поэтому статистический вес триплетного состояния втрое выше, чем синглетного, и лишь 25% встреч будет соответствовать реакционноспособному, синглетному состоянию.

[4] Свободные радикалы — фрагменты молекул, которые возникают при разрыве ковалентной связи и обладают неспаренным электроном на внешней молекулярной орбите.

[3] Сагдеев Р. З., Салихов К. М., Лешина Т. В., Камха М. А., Шейн С. М., Молин Ю. Н.— Письма в ЖЭТФ, 1972, т. 16, с. 599.

[4] При написании химических формул эта особенность обозначается точкой над химическим символом свободного радикала.

[5] Такая реакция является обязательной стадией любых радикальных процессов, независимо от того, инициируются ли эти процессы термически, фотохимически, с помощью ионизирующих излучений или каким-либо другим способом.

Радикальную пару можно приготовить и в строго заданном спиновом состоянии. Так, при термическом распаде молекулы на два радикала или при распаде синглетно-возбужденной молекулы неспаренные электроны сохраняют взаимную антипараллельную ориентацию спинов, т. е. пара образуется в синглетном состоянии. Напротив, при распаде триплетно-возбужденной молекулы образуется триплетная радикальная пара[6].

Спиновый запрет для реакции радикальных пар является строгим лишь в том случае, если за время взаимодействия ориентация спинов сохраняется. В газовой фазе длительность взаимодействия, равная времени столкновения, очень мала, и с хорошей точностью можно считать, что ориентация спинов остается неизменной. Совсем другая ситуация складывается в растворах. Под влиянием окружающих молекул растворителя пара радикалов может находиться в непосредственном соседстве (или, как принято говорить, в «клетке») значительно дольше, чем в газе. Но, что особенно важно, в жидкости, в отличие от газа, два радикала, расходясь на некоторое расстояние, имеют возможность через какое-то время встретиться вновь. Все это приводит к тому, что в растворах даже слабые возмущения, влияющие на ориентацию спина, успевают привести к изменению спинового состояния радикальной пары, а следовательно, и к вероятности ее рекомбинации. Поэтому если исходная пара триплетная, то она получает некоторый шанс рекомбинировать, а если синглетная, то вероятность ее рекомбинации может уменьшиться из-за перехода в триплетное состояние.

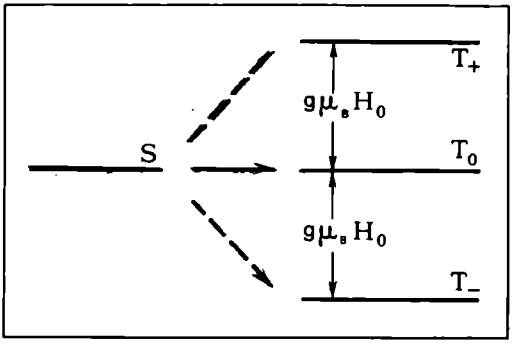
Внешнее магнитное поле является как раз тем слабым возмущением, которое влияет на скорость перехода радикальной пары из синглетного состояния в триплетное и наоборот. Чтобы представить себе механизм этого влияния, рассмотрим более детально поведение электронных спинов радикальной пары во внешнем магнитном поле.

Как известно, в магнитном поле H_0 электронный спин прецессирует с ларморовской частотой

$$\omega = g\mu_в \hbar^{-1} H_0,$$

где $\hbar$ — постоянная Планка, g — коэффициент, определяющий расщепление уровней во внешнем магнитном поле, $\mu_в$ — магнитный спиновый момент электрона.

Антипараллельные спины синглетной радикальной пары прецессируют синхронно с одинаковой частотой ω. При этом суммарный спин остается равным нулю. Однако, как правило, магнитные ядра обоих



Энергетические уровни радикальной пары во внешнем магнитном поле. Сверхтонкое взаимодействие вызывает синглет-триплетные ($S \leftrightarrow T_0$) переходы. В сильном поле переходы $S \rightarrow T_+$ и $S \rightarrow T_-$, показанные пунктирными стрелками, запрещены.

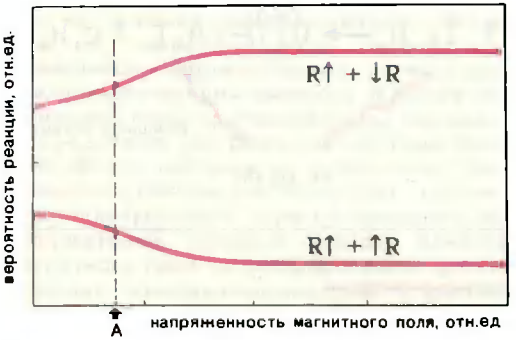
радикалов создают неодинаковые внутренние поля, поэтому результирующие, эффективные магнитные поля, которые складываются из внешнего и внутреннего, различны для каждого из радикалов и будут отличаться на величину ΔH. Это приводит к изменению частот прецессии спинов и нарушению синхронности их вращения. В результате синглетное состояние пары переходит в триплетное. Механизм такого изменения спинового состояния называется механизмом сверхтонкого взаимодействия.

Переходы между разными спиновыми состояниями осуществимы только в том случае, когда энергия их взаимодействия не меньше разницы энергий этих состояний. Что касается сверхтонкого взаимодействия, то оно настолько мало, что практически способно индуцировать переходы только между изоэнергетическими спиновыми состояниями. В отсутствие внеш-

[6] Возбужденное состояние молекулы называется синглетным, если спин электрона, перешедшего на более высокий энергетический уровень, антипараллелен спину электрона, оставшегося на исходной валентной орбите. Если же спины этих электронов параллельны, то такое состояние называется триплетным.

него поля все триплетные состояния имеют одинаковую энергию, и она совпадает с энергией синглетного состояния. Если в процессе взаимной диффузии радикалы разошлись на некоторое расстояние, то сверхтонкое взаимодействие индуцирует одинаково эффективно переходы из синглетного состояния во все триплетные и обратно.

Во внешнем магнитном поле H_0 триплетное состояние расщепляется и только энергия состояния T_0 остается без изменения. Поле не оказывает



Зависимость вероятности рекомбинации синглетной и триплетной радикальной пары от внешнего магнитного поля. Вероятность рекомбинации изменяется в полях, сравнимых с константой сверхтонких взаимодействий A.

воздействия на T_0, потому что магнитный момент в этом состоянии перпендикулярен ему. Энергия синглетного состояния, имеющего нулевой магнитный момент, также не изменяется. Два других состояния — T_+ и T_- изменяют свою энергию на величину $\pm\hbar\omega = g\mu_в H_0$, поскольку их магнитные моменты ориентированы соответственно по полю и против него. В этом случае переход пары из синглетного состояния может происходить только в состояние T_0 и наоборот. Таким образом, внешнее магнитное поле втрое уменьшает эффективность спинового превращения радикальных пар. Отсюда видно, что с помощью внешнего поля, накладывая ограничения на спиновые превращения, можно увеличить вероятность рекомбинаций радикальных пар, которые первоначально находились в синглетном состоянии. Этого можно достичь, когда энергия взаимодействия магнитных моментов радикалов с полем становится больше сверхтонкого взаимодействия, вызывающего спиновый переход. Существенно, что это происходит при энергии магнитного взаимодействия, по-прежнему меньшей по сравнению с энергией теплового движения. Для органических радикалов она соответствует напряженности поля от 10 до 100 гаусс.

В заключение необходимо отметить, что, хотя принципиально почти любая реакция радикальных пар должна быть магниточувствительной, на практике масштаб влияния существенно зависит от условий эксперимента. Эффект воздействия поля на химические превращения может составлять от десятков процентов, что легко фиксируется в опыте, до долей процента и не превышать ошибки эксперимента. Поэтому обычно возникает проблема подбора оптимальных условий для изучения магнитных эффектов. Так, из качественной картины явления следует, что влияние магнитного поля на вероятность рекомбинаций радикальной пары тем больше, чем больше вероятность ее синглет-триплетного перехода. Этому благоприятствуют два фактора: большие времена пребывания двух радикалов в «клетке», что может быть обеспечено, например, увеличением вязкости растворителя, и большие константы сверхтонких взаимодействий в радикалах. Учитывая эти соображения, можно подбирать оптимальные условия опыта.

МАГНИТНЫЕ ЭФФЕКТЫ И МЕХАНИЗМ РЕАКЦИЙ

Сам факт наблюдения магнитных эффектов и, особенно, количественное сопоставление эксперимента с теорией позволяют делать выводы о механизме химического процесса. Такую информацию зачастую трудно или даже невозможно получить другими методами.

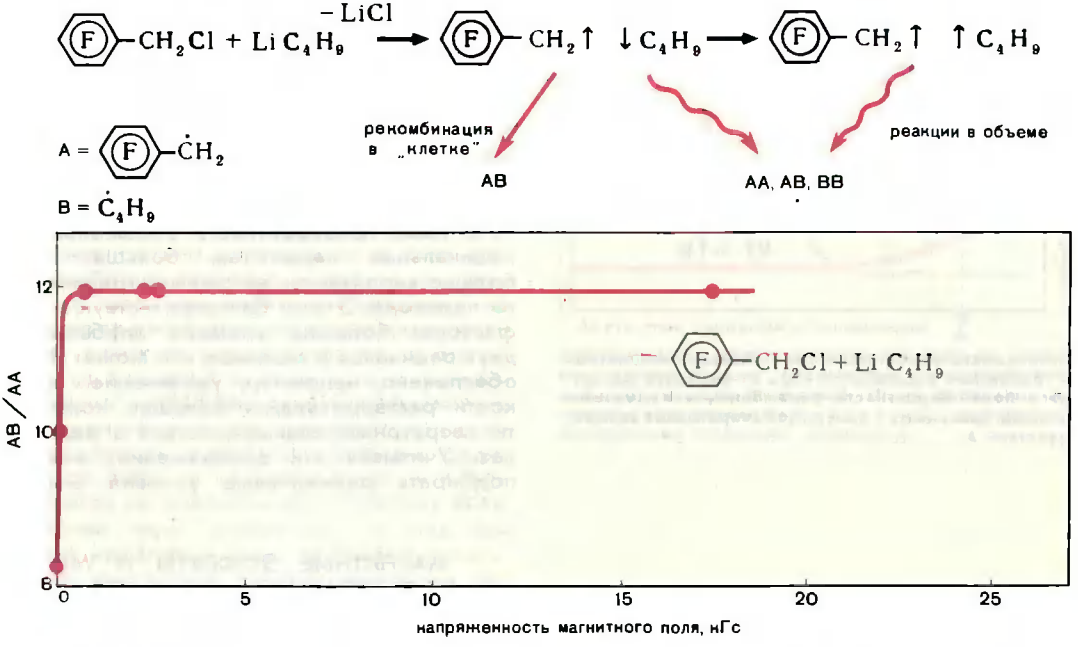
Проиллюстрируем эти заключения несколькими примерами. Первой системой, в которой удалось наблюдать влияние магнитного поля на радикальные реакции в растворах, была реакция пентафторбензилхлорида с бутиллитием. Эта реакция подробно исследовалась группой сотрудников Института химической кинетики и горения и Новосибирского института органической химии СО АН СССР. Они установили, что первичной стадией процесса является образование синглетной радикальной пары, состоящей из пентафторбензильного и бутильного радикалов. Два радика-

ла могут либо рекомбинировать в «клетке», давая несимметричный продукт AB, либо выходить «в объем» (т. е. расходиться), вступать в другие реакции и давать различные продукты, включая симметричные продукты рекомбинации радикалов AA и BB.

Вероятность рекомбинации пары удобно характеризовать легко измеряемым на опыте соотношением продуктов AB и AA. Оказалось, что при увеличении напряженности магнитного поля до сотен гаусс оно возрастает. Дальнейший рост напряженности поля не приводит к изменению соотношения продуктов реакций. Нетрудно видеть, что эти экспериментальные факты хорошо описываются в рамках механизма сверхтонких взаимодействий. Действительно, вероятность рекомбинации исходной синглетной пары увеличивается с ростом магнитного поля. Это происходит из-за уменьшения вероятности перехода радикальной пары в триплетное состояние. В пользу механизма сверхтонких взаимодействий свидетельствует и тот факт, что рост вероятности рекомбинации реагентов происходит при напряженности поля, соответствующей константам их сверхтонкого взаимодействия.

Количественный анализ приведенных фактов позволил выявить одну интересную особенность, свойственную радикальным реакциям в упомянутых системах. Оказалось, что радикалы пары находятся по соседству значительно дольше, чем следует из оценок их диффузионной подвижности. Вероятно, оба радикала входят в состав одного и того же кластера, или ассоциата, образование которых характерно для литийорганических соединений. Аналогичная особенность была обнаружена в совместной работе с сотрудниками Иркутского института органической химии при изучении радикальных реакций литий-германиевых соединений.

Еще одной системой, изученной в нашем институте, был фотоиндуцированный переход стильбена из цис-изомера в транс-изомер[7]. Считалось, что эта классическая



Механизм реакции пентафторбензилхлорида с бутиллитием (в в е р х у). Зависимость отношения выхода продуктов реакции AB и AA от внешнего магнитного поля (в н и з у).

[7] Цис-изомер — изомер, у которого атомы или группы атомов расположены по одну сторону от плоскости двойной связи или ароматического кольца. В транс-изомере одинаковые атомы расположены по обе стороны этой плоскости.

нерадикальная реакция не должна была преподносить сюрпризов. Неожиданно выяснилось, что в некоторых условиях скорость этого химического превращения зависит от магнитного поля. Подробное исследование позволило установить, что первичным актом такой реакции иногда может быть не перенос энергии от фотосенсибилизатора к стильбену, как считали раньше, а перенос заряда с образованием ион-радикальной пары.

Сходные процессы были детально изучены двумя группами западногерманских ученых (А. Веллер с сотрудниками и М. Михель-Байерль с сотрудниками), которые исследовали влияние магнитных полей на тушение люминесценции. Оказалось, что первичным актом тушения люминесценции ароматических углеводородов ароматическими аминами является образование пары противоположно заряженных радикалов ион-радикальной пары. Большой объем информации о первичных радиационно-химических процессах получен Б. Броклехурстом с группой канадских исследователей, которые изучали влияние магнитного поля на рекомбинацию ароматических ион-радикальных пар в растворах. Японский исследователь С. Нагакура с сотрудниками использовал магнитные эффекты для получения дополнительной информации о довольно сложном механизме радикального фотохимического распада перекиси бензоила. Наконец, в Институте фотосинтеза АН СССР и в зарубежных лабораториях путем изучения магнитных эффектов получены сведения о первичных радикальных стадиях фотосинтеза.

Таким образом, к настоящему времени опубликовано достаточно большое количество данных, иллюстрирующих природу нового явления, его потенциальные возможности в обнаружении радикальных стадий реакций и установлении их детального механизма.

МАГНИТНЫЙ ИЗОТОПНЫЙ ЭФФЕКТ

Наряду с внешним магнитным полем на скорость химического превращения радикалов могут влиять внутренние поля магнитных ядер. Это явление получило название магнитного изотопного эффекта. Экспериментальному наблюдению нового эффекта предшествовало теоретическое предсказание, сделанное на основании исследования влияния магнитного поля на реакции с участием радикалов.

Само явление изотопного эффекта в химических реакциях изучено давно и широко используется в исследовательской практике, например для разделения изотопов. Как известно, изотопы одного и того же элемента химически тождественны. Тем не менее они могут вступать в химические реакции с несколько разными скоростями. Это различие связано с различием масс изотопов. В большинстве случаев оно сравнительно невелико и составляет доли процента (кроме изотопов водорода). Из рассмотренного выше механизма сверхтонких взаимодействий следует, что на скорость превращения радикала должна влиять не только масса изотопа, но и его магнитный момент.

Действительно, если, например, исходная пара пребывает в триплетном состоянии, а ядра радикалов имеют нулевой магнитный момент, то переход из триплетного в синглетное состояние за счет механизма сверхтонких взаимодействий невозможен. Пара не рекомбинирует, радикалы выходят «в объем», где и вступают в какие-то иные реакции. Однако если один из радикалов содержит магнитный изотоп, пара имеет шанс перейти из триплетного в синглетное состояние и рекомбинировать. Таким образом, в продукте рекомбинации будет концентрироваться магнитный изотоп. Если исходная пара была в синглетном состоянии, то благодаря магнитному изотопному эффекту она перейдет в триплетное состояние, т. е. вероятность рекомбинации уменьшится.

Рассмотрим в качестве иллюстрации систему, изученную А. Л. Бучаченко с сотрудниками[8]. При фотохимическом распаде дибензилкетона образуется триплетная радикальная пара, рекомбинация которой в соответствии с правилами спинового запрета невозможна. Исходная триплетная пара может перейти в синглетное состояние за счет сверхтонкого взаимодействия неспаренных электронов с протонами радикалов, однако это взаимодействие невелико и такой процесс малоэффективен. Вероятность перехода из триплетного состояния в синглетное существенно возрастает, если СО-группа одного из радикалов будет содержать сравнительно редкий магнитный изотоп углерода ^{13}C, который создает значительно большие сверхтонкие поля по сравнению с протонами. Таким образом, радикальные пары,

[8] Бучаченко А. Л., Ершов В. В., Галимов Э. М., Никифоров Г. А., Першин А. Д.— Доклады АН СССР, 1976, т. 228, с. 379.

содержащие изотопы ^{13}C, будут иметь более высокий шанс рекомбинировать, восстанавливая исходное вещество. Следовательно, это вещество должно обогащаться изотопом ^{13}C. Эксперимент по обогащению дибензилкетона изотопом ^{13}C полностью согласуется с этими предсказаниями.

В нашем институте изучался сходный процесс — фотохимический распад перекиси бензоила в присутствии сенсибилизатора. Было обнаружено, что в результате перехода исходных триплетных пар в синглетные и последующей их рекомбинации

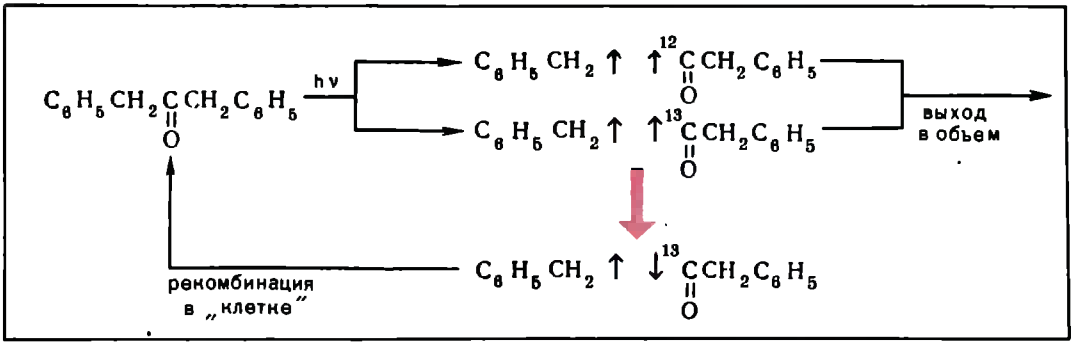


Схема фотохимического распада дибензилкетона. В результате такого процесса происходит обогащение исходного вещества магнитным изотопом ^{13}C.

происходит обогащение продукта реакции в «клетке» магнитным изотопом ^{13}C. При этом удалось показать, что локализация изотопа в молекуле соответствует предсказаниям теории.

Подбирая оптимальные условия, американский исследователь Н. Турро с сотрудниками получил в упомянутой выше фотохимической реакции дибензилкетона двух-трехкратное (по сравнению с природным) увеличение содержания магнитного углерода ^{13}C в СО-группе.

С открытием этого явления связаны новые интереснейшие проблемы в самых разных областях науки. Возможно, новый изотопный эффект внесет свои коррективы в ряд методов, основанных на определении содержания изотопа в веществах. Такие методы применяются в геохимии, биологии, космологии. Кроме того, поскольку магнитный изотопный эффект может быть достаточно велик, не исключена возможность применения этого эффекта для разделения изотопов. Эта идея особенно привлекательна для случая тяжелых ядер, где обычный изотопный эффект ничтожно мал. Недавно В. И. Гольданский предложил использовать новый эффект для разделения изомерных ядер, ядер с одинаковыми зарядами и массами, но находящихся в разных возбужденных состояниях. Такие ядра невозможно разделить традиционными методами. Если, однако, они имеют разные магнитные моменты, их разделение с использованием магнитного изотопного эффекта становится возможным.

ОПТИЧЕСКОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ СПЕКТРОВ ЭПР РАДИКАЛЬНЫХ ПАР

Важным итогом изучения магнитных эффектов в радикальных реакциях явилась разработка нового высокочувствительного метода регистрации короткоживущих радикальных пар. Это — метод оптического детектирования спектров электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). В отличие от традиционной регистрации поглощения радикалами радиоволн, оптическое детектирование основано на регистрации световых квантов, испускаемых продуктами рекомбинации реагентов, что приводит к огромному повышению чувствительности.

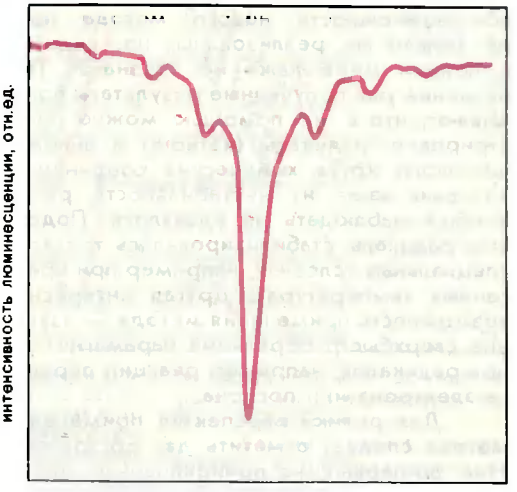
Метод оптического детектирования впервые был применен в области физики твердого тела. Швейцарские исследователи наблюдали этим методом за парамагнитными центрами в ионных кристаллах; Е. Л. Франкевич с сотрудниками в ИХФ АН СССР исследовали парамагнитные частицы в молекулярных кристаллах. Впоследствие этот метод был применен в ИХКиГ СО АН СССР для изучения радикальных пар в растворах.

Идея метода тесно связана с вопросом о том, можно ли повлиять на рекомбинацию радикальной пары с помощью

переменных магнитных полей, т. е. полей сравнительно небольшой амплитуды, изменяющих с высокой частотой свое направление. Известно, что переменные магнитные поля оказывают на электронные спины резонансное воздействие. Поляризованные постоянным внешним магнитным полем H_0, электронные спины могут быть «опрокинуты» слабым переменным полем строго определенной резонансной частоты, соответствующей частоте ларморовской прецессии. Именно в этом и заключается явление электронного парамагнитного резонанса, открытое в нашей стране в 1944 г. Е. К. Завойским. Таким образом, применяя резонансные переменные магнитные поля, можно изменить ориентацию спина, а следовательно, и вероятность рекомбинации радикальной пары. Хотя прямые эксперименты по влиянию переменных магнитных полей на скорость образования конечных продуктов радикальной реакции пока не ставились, опыты по оптическому детектированию спектров ЭПР, которые будут описаны ниже, показывают, что такая возможность существует.

Принцип метода удобно пояснить на примере реакции рекомбинации пары ароматических ион-радикалов. Такая реакция характерна для радиационно-химических, фотохимических процессов и чувствительна к внешнему магнитному полю. Рассмотрим случай, когда в исходной паре спины радикалов антипараллельны. Именно такие пары возникают при действии ионизирующего излучения на вещество. Поскольку до ионизации в исходной молекуле электронные спины были спарены, то их антипараллельная ориентация сохранится и в продукте — ион-радикальной паре. В результате рекомбинации такой пары образуется синглетно-возбужденная молекула, испускающая свет. Если к внешнему постоянному полю H_0 добавить переменное магнитное поле с частотой, настроенной на частоту прецессии одного из радикалов, тем самым можно создать условия для резонансного поглощения радиоволн этим радикалом. Тогда ориентация его спина изменится на противоположную и пара из синглетной превратится в триплетную. Переход пары в триплетное состояние не препятствует реакции переноса электрона, однако при этом возникнет не синглетная, а триплетная возбужденная молекула, которая не люминесцирует. Таким образом, действие переменного магнитного поля на реакцию должно приводить к резонансному уменьшению интенсивности люминесценции. Резонансное изменение люминесценции — это не что иное, как спектр ЭПР, записанный нетрадиционными средствами, по световому сигналу. Ясно, что переход от регистрации поглощения радиоволн, как это делается в спектрометрах ЭПР, к регистрации оптических квантов люминесценции должен привести к повышению чувствительности.

О достоинствах нового метода можно судить по результатам эксперимента. Время жизни ион-радикальных пар, о которых только что шла речь, обычно не превышает 10^{-7} с. Максимальная же скорость генерации таких пар, которая может быть достигнута с применением ускорителей заряженных частиц без риска испарить за короткое время весь образец, составляет около 10^{18} пар/с. Таким образом, стационарная концентрация пар в образце при самых благоприятных условиях не может превышать 10^{11}, что находится на грани реальной чувствительности спектрометров ЭПР. Поэтому методом ЭПР практически не удавалось регистрировать такие короткоживущие пары радикалов.



Спектр ЭПР радикальной пары, включающей анион дейтероантрацена (интенсивная центральная линия) и катион триэтиламина (остальные линии). Время жизни радикальных пар 10^{-7} с; стационарная концентрация — около 100 радикальных пар в образце; растворитель — сквалан; температура +3°С.

Метод оптического детектирования, как показали эксперименты, выполненные в нашем институте, позволяет регистриро-

вать спектр ЭПР радикальной пары, образующейся при скоростях, меньших на 9—10 порядков, по сравнению с упомянутой выше скоростью[9]. Иными словами, можно регистрировать спектр ЭПР при стационарных концентрациях всего 10—100 радикальных пар в образце. При этом времена жизни радикальных пар могут составлять 10^{-8} с, что на несколько порядков лучше временно́го разрешения обычных спектрометров ЭПР.

Изучение радикальных реакций в растворах с помощью оптического детектирования ведется всего лишь два года, и все возможности нового метода пока не только не реализованы, но, видимо, в полной мере даже не осознаны. Тем не менее уже полученные результаты показывают, что с его помощью можно регистрировать радикалы (катионы и анионы) широкого круга химических соединений, которые из-за их нестабильности ранее вообще наблюдать не удавалось. Подобные радикалы стабилизировались только в специальных условиях, например при криогенных температурах. Другая интересная возможность применения метода — изучение сверхбыстрых реакций парамагнитных ион-радикалов, например реакций переноса электрона или протона.

Для оценки перспектив применения метода следует отметить два обстоятельства. Во-первых, не принципиально, каким образом созданы радикалы, важно только, чтобы продукт их рекомбинации испускал свет. Такие реакции свойственны не только радиационно-химическим процессам, они встречаются в фотохимии, в частности в процессах фотосинтеза, и даже в ряде термических реакций, например в реакциях окисления. И второе: устройство для оптического детектирования может быть выполнено в виде несложной приставки к стандартным спектрометрам ЭПР, которые широко применяются в практике химических исследований.

Таким образом, совсем недавно трудно было представить себе какой-либо физически обоснованный механизм влияния магнитного поля на элементарный химический акт. В последнее время наши взгляды коренным образом изменились. Сейчас мы отчетливо понимаем, что воздействие магнитных полей на реакции парамагнитных частиц друг с другом — это новое универсальное явление, природа которого имеет не энергетический, а «управляющий» характер. Теория этого явления разработана до тонких деталей, а подтверждающий теорию экспериментальный материал надежен и многообразен. На практике полученные данные могут успешно применяться для разработки новых путей исследования механизмов химических реакций. Интересную информацию можно будет получить как при детальном изучении магнитных и магнитных изотопных эффектов, так и с помощью новых высокочувствительных методов детектирования парамагнитных частиц. Кроме того, ясно, что существует также принципиальная возможность применения этого явления в прикладных областях, например для управления скоростями радикальных процессов, для обогащения изотопов. Эксперименты, которые сейчас ставятся в различных лабораториях, в дальнейшем позволят сказать, насколько здесь оправданы надежды.

[9] Такие скорости генерации радикальных пар можно обеспечить, например, если ввести в образец слабый радиоактивный источник. Об этих экспериментах см.: Анисимов О. А., Григорянц В. М., Молчанов В. К., Молин Ю. Н.— Доклады АН СССР, 1979, т. 248, с. 380.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Сагдеев Р. З., Салихов К. М., Молин Ю. Н. ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОЦЕССЫ С УЧАСТИЕМ РАДИКАЛОВ И ТРИПЛЕТНЫХ МОЛЕКУЛ В РАСТВОРАХ.— Успехи химии, 1977, т. 46, с. 569.

Бучаченко А. Л., Сагдеев Р. З., Салихов К. М. МАГНИТНЫЕ И СПИНОВЫЕ ЭФФЕКТЫ В ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЯХ. Новосибирск: Наука, 1978.

Открыты новые оси расширения дна Тихого океана

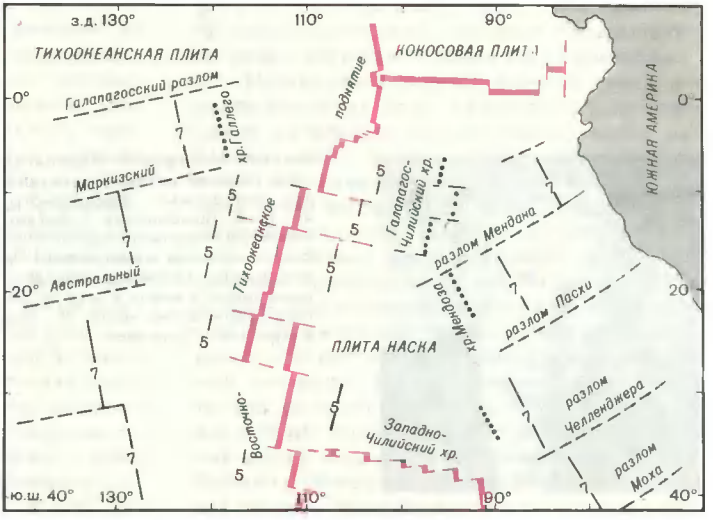
А. Е. Сузюмов,
кандидат геолого-минералогических наук

Москва

Открытие в 50-х годах мировой системы срединно-океанических хребтов привело к гипотезе спрединга, или разрастания дна океана, а позднее — к концепции тектоники литосферных плит. В дальнейшем были выявлены не только современные, но и отмершие оси спрединга, которые проявляются в рельефе дна или же в рельефе акустического фундамента в виде невысоких хребтов, а в магнитном поле — в виде осесимметричных полос магнитных аномалий.

Недавно Д. Хандшумахер[1] на основании анализа линейных магнитных аномалий предложил модель развития юго-восточной части Тихого океана в постэоценовое время (т. е. за последние 40 млн лет). Согласно модели, в конце олигоцена (26 млн лет назад) там произошла перестройка системы спрединга, связанная с отмиранием древнего хребта, который простирался с юго-юго-востока на северо-северо-запад, и образованием новой оси разрастания дна — Восточно-Тихоокеанского поднятия, которое тянется с юго-юго-запада на северо-северо-восток.

Сохранились ли в рельефе дна следы древнего, отмершего хребта? Группа геоморфологов из Скриппсовского океанографического института и Геологической обсерватории Ламонта—Доэрти (Палисейдс, США)[2] на основе детальных батиметрических исследований



Современные оси спрединга и смещающие их трансформные разломы (показано цветом) и отмершие срединно-океанические хребты (точки) в юго-восточной части Тихого океана. Различия в простирании магнитных аномалий (линии с цифрами) указывают на перестройку системы спрединга. Хребты Мендоза и Галлего — части древнего хребта, разорванного более поздним спредингом.

выделили в юго-восточной части Тихого океана невысокий, разбитый трансформными разломами хребет протяженностью не менее 4,6 тыс. км. Бóльшая его часть лежит примерно посередине между Восточно-Тихоокеанским поднятием и Перу-Чилийским желобом, а один сегмент — западнее Восточно-Тихоокеанского поднятия, симметрично остальным. Таким образом, Восточно-Тихоокеанское поднятие — более молодая ось спрединга — разорвала ранее существовавший срединно-океанический хребет на две части. Интерполируя геомагнитные данные, исследователи уточнили, что перестройка системы спрединга произошла около 20 млн лет назад. В это время прежняя плита Фараллон была расколота на более мелкие плиты, сохранившиеся до настоящего времени: Кокосовую, Наска и Антарктическую.

Батиметрические исследования в близэкваториальной зоне позволили впервые однозначно выделить еще один хребет — Галапагос-Чилийский, о наличии, размерах и простирании которого в литературе высказывались противоречивые мнения. Оказалось, что хребет невелик по протяженности (немногим более 1000 км) и разделен на несколько сегментов трансформными разломами, параллельными разломам Восточно-Тихоокеанского поднятия. По интерпретации авторов, Галапагос-Чилийский хребет ранее представлял собой часть Восточно-Тихоокеанского поднятия, значительно сдвинутую по разломам в восточном направлении. Около 8,5 млн лет назад прямо на простирании оси Восточно-Тихоокеанского поднятия возникла еще одна ось разрастания дна. Однако эти две параллельные оси совместно просуществовали недолго: 6,5 млн лет назад спрединг на Галапагос-Чилийском хребте прекратился и с той поры новая ось развивается в качестве основной.

[1] Handschumacher D. W.— In: The Geophysics of the Pacific ocean basin and its margin. Washington, 1976, p. 177.
[2] Mammerickx J., Herron E., Dorman L.— Geol. Soc. Amer. Bull., 1980, Part 1, v. 91, № 5, p. 263.

Палеогеография Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна

Н. И. Марковский

Николай Иосифовнч Марковский, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Работает над проблемой установления закономерностей нефтегазонакопления под влиянием палеогеографического фактора. Автор монографий: Палеогеографические условия размещения крупных залежей нефти. М.: Недра, 1965; Палеогеографические основы поисков нефти и газа. М.: Недра, 1973; Палеогеографический прогноз нефтегазоносности. М.: Недра, 1981. Неоднократно публиковался в журнале «Природа».

Еще ни один нефтегазоносный бассейн в нашей стране не развивался так стремительно, как Западно-Сибирский. С 1966 по 1975 г. добыча нефти здесь возросла с 1 млн т до 150 млн т, а газа с 3,3 млрд м^3 до 38 млрд м^3. В 1980 г. здесь уже было добыто 312 млн т нефти и 156 млрд м^3 газа.

В «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года» предусматривается довести в 1985 г. добычу нефти, включая газовый конденсат, в Западно-Сибирском районе до 385—395 млн. т, а газа до 330—370 млрд м^3. В отчетном докладе ЦК КПСС XXVI съезду Л. И. Брежнев отметил: «В качестве задачи первостепенной экономической и политической важности считаю нужным выделить быстрое увеличение добычи сибирского газа. Месторождения западносибирского региона уникальны. Наиболее крупное из них — Уренгойское — отличается такими гигантскими запасами, что на протяжении многих лет может обеспечивать как внутренние потребности страны, так и экспорт...»

В связи с этой задачей особое значение приобретают поисковые геологоразведочные работы в Западно-Сибирском бассейне. Значительная часть наиболее выраженных и сравнительно легко доступных нефтегазоносных структур в этом районе уже разбурена. Однако почти нетронутым резервом являются ловушки нетектонического типа. Поиск их, по-видимому, будет более трудным.

Поэтому исключительное значение имеет теория и, в частности, повышение уровня научного прогноза и обоснования поисковых работ. Одно из новейших достижений в учении о нефтегазообразовании и нефтегазонакоплении — раскрытие этих процессов с помощью историко-генетического метода. Его составная часть — выяснение природы генерирующих и аккумулирующих нефть и газ отложений путем воссоздания палеогеографических условий накопления осадков.

Степень достоверности палеогеографических реконструкций определяется тщательностью стратиграфических, палеотектонических, литолого-фациальных и других исследований, восстанавливающих историю развития литосферы и биосферы. Для воссоздания физико-географической среды накопления осадков в определенные отрезки геологического времени применяется целая совокупность приемов и методов. При этом чем обширнее изучаемая площадь, тем полнее может быть применен комплекс исследований и тем точнее будут палеогеографические реконст-

рукции. Только совместное рассмотрение истории развития непосредственной области осадконакопления и прилегающей к ней провинции позволяет получать более детальную характеристику осадочного бассейна в целом и его отдельных частей. Так как физико-географическая обстановка и ее изменения обусловливаются рядом взаимосвязанных факторов, то каждый из них изучается отдельно, а полученные выводы интегрируются в стройную систему палеогеографических представлений. Вот почему системный подход вместе с применением историко-генетического метода в палеогеографии играет решающую роль.

Палеогеография в наши дни становится предсказательной наукой, способной решать ряд геологических задач. Только одна из ее функций — прогноз поисков полезных ископаемых осадочного происхождения — выдвигает палеогеографию в число важнейших научных направлений большого теоретического и практического значения. Дело в том, что древняя физико-географическая обстановка осадконакопления является не только началом сложного процесса формирования генерирующих и аккумулирующих нефть и газ отложений, но и одной из основных предпосылок их размещения в осадочном чехле.

Всей мировой практикой нефтегазопоисковых работ доказано, что родина нефти и газа — осадочные бассейны. Заполнение самих бассейнов осадками осуществляется почти исключительно реками. Вот почему без учета их деятельности и влияния на развитие процессов осадконакопления невозможно объективно оценить особенности и перспективы нефтегазоносности. Роль и значение палеорек в нефтегазонакоплении, к сожалению, до сих пор многими исследователями недостаточно оценены. Нефтематеринские отложения обладают наибольшим потенциалом именно там, где в осадочных бассейнах происходила максимальная концентрация жизни и сравнительно быстрое захоронение ее остатков. А это наиболее характерно для устьев рек. Но кроме генерировавших углеводороды пород нужны и вмещающие породы — коллекторы и покрышки. Благоприятные условия для формирования тех и других чаще всего складывались в прибрежных зонах морей, и особенно там, где впадали в них крупные реки.

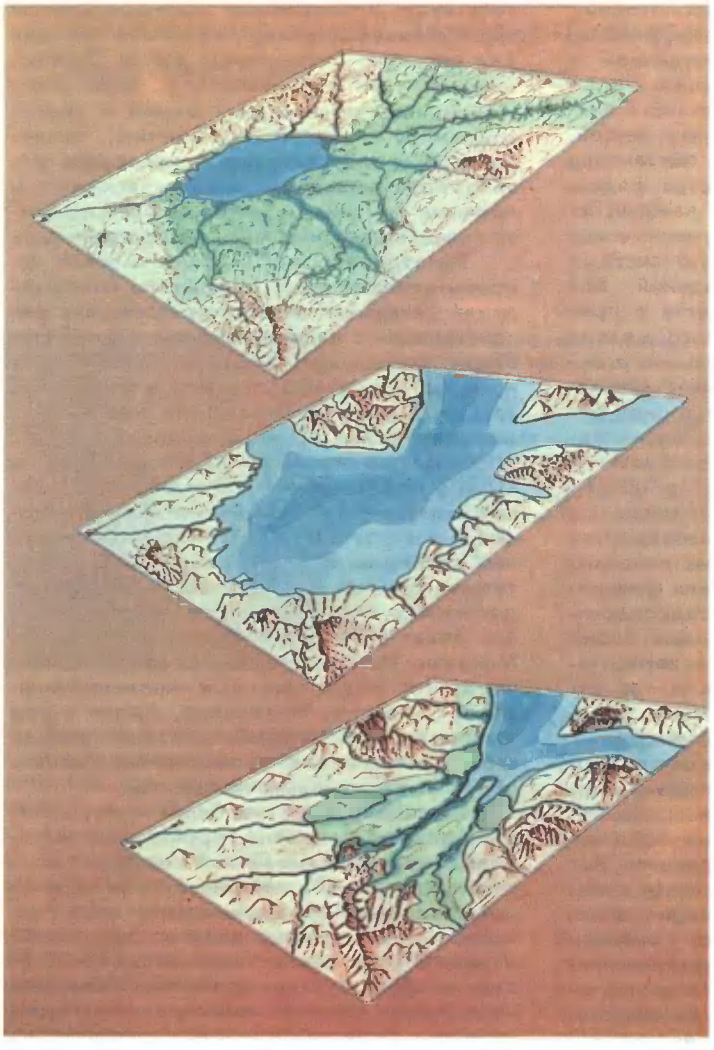
Литолого-фациальный анализ и палеогеографический синтез — это единственный способ воссоздания контуров палеоморей и погребенных устьев древних рек. Поэтому палеогеографические реконструкции способствуют установлению закономерностей нефтегазонакопления и являются основой для поисково-разведочных работ. Закономерности эти обусловлены прежде всего менявшимся положением морей и других водоемов, глубиной, соленостью, температурой их вод, наличием выносов рек, физико-геохимическими, экологическими и прочими причинами, которые раскрываются палеогеографическими исследованиями.

Наглядное представление о таких закономерностях дают результаты сопоставлений детальных палеогеографических реконструкций с данными о размещении уже открытых залежей нефти и газа. На основе этого выделяются пояса и узлы нефтегазонакопления. Первые из них — это широкие зоны, протягивающиеся вдоль древних пологих морских побережий, а вторые представляют собой области высокой концентрации скоплений углеводородов, в частности в отложениях устьев крупных палеорек. В подтверждение исключительно богатой нефтеносности последних достаточно сослаться на образования древних дельт Мисиссипи, Ориноко, Атабаски, Макензи, Нигера, Тигра и Евфрата и многих других. Известные наши скопления нефти — Самотлор, Ромашкино, Арлан и ряд других своими запасами обязаны прежде всего деятельности крупных рек и главным образом их устьевым процессам.

Именно реки в изобилии поставляют в осадочные бассейны терригенный материал и растворы различных солей, и также остатки растений и животных. Реки образуют обширные аллювиально-дельтовые равнины, создают русла, дельты, бары, косы и другие песчаные тела. Устья рек — это те области, где происходит быстрое накопление осадков и захоронение органических веществ. Крупные палеореки играли если не главную, то, безусловно, весьма существенную роль в мобилизации необходимых факторов для генерации и аккумуляции углеводородов. Вот почему устьевые области больших палеорек — это области высокой интенсивности нефтегазонакопления[1].

Мы далеки от мысли, что прогноз, а также поиски и разведка углеводородов могут опираться только на палеогеографические выводы без привлечения других исследований. Но они могут сыграть существенную роль в дальнейшем развитии геоло-

[1] Марковский Н. И. Нефть в устьях рек.— Природа, 1976, № 2, с. 100.



Реконструкции физико-географической обстановки, существовавшей в течение некоторых эпох и веков юрского и мелового времени на территории Западной Сибири.

го-разведочных работ в западной Сибири, тем более, что речные фации здесь широко распространены в отложениях юры и мела. Немало речных отложений вообще пока не выявлено и не опознано. А именно там, где они встречаются, следует искать погребенные дельты. Но для этого необходимо восстановить историю развития осадочного бассейна.

ПРОШЛОЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ РАСКРЫВАЕТ ЕЕ НАСТОЯЩЕЕ

Нами были сделаны палеогеографические реконструкции, дающие некоторые представления о физико-географических обстановках накопления осадков. Хотя они схематичны, но уже могут служить отправным началом для дальнейшей детализации палеоландшафтов рассматриваемого региона и определения районов и стратиграфических интервалов, наиболее перспективных в нефтегазоносном отношении.

Прежде чем говорить о физико-географических и биогеографических условиях осадконакопления, необходимо выделить отдельные этапы развития нефтегазоносного комплекса пород юрского и мелового

возраста, о которых идет речь в нашей статье. Они показаны в таблице.

В **геттангский** и **синемюрский века** почти вся территория Западно-Сибирской плиты была занята гумидной озерно-болотной низменностью, дренировавшейся многочисленными большими и малыми реками. И лишь в ее северной части размещалось море, временами проникавшее ненадолго в более южные районы. Морской бассейн вдавался в сушу двумя обширными опресненными заливами, куда впадали крупные реки. В их устьях накапливались песчаники в виде кос, пересыпей и других аккумулятивных форм. Направление рек было преимущественно субмеридиональным, и долины их чаще всего располагались во впадинах и прогибах. Пока остаются невыявленными их дельты. В долинах древних рек и на заболоченной равнине кроме песчано-глинистых отложений формировались многочисленные торфяники. Растительный мир состоял главным образом из папоротниковых и плауновых представителей теплого и влажного климата. На возвышенный участках суши росли гинкгово-хвойные леса.

Плинсбахский век почти не отличался от предыдущего. Гумидная низменность оставалась с одной стороны денудационной, а с другой — аккумуляционной областью. Другими словами, на водоразделах размывались ранее отложившиеся осадки, а в долинах, озерах и в понижениях рельефа накапливались аллювиальные. Они встречаются на многих площадях и выра-

Таблица

Эра	Период	Длительность, млн лет	Эпоха	Век
мезозойская	меловой	70	поздняя	датский маастрихский кампанский сантонский коньякский туронский сеноманский
			ранняя	альбский аптский барремский готеривский валанжинский берриасский
	юрский	55—58	поздняя	волжский кимериджский оксфордский келловейский
			средняя	батский байосский ааленский
			ранняя	тоарский плинсбахский синемюрский геттангский

жены русловыми песками с линзами гравия. Наблюдаются также и пойменные алеврито-глинистые отложения, в которых нередки пласты бурых углей. В юго-восточной части плиты, в Чулымо-Енисейской впадине, скважинами вскрываются русловые образования низовий рек. Речные долины намечаются на Перегребненской, Радомской, Шеркалинской, Мало-Атлымской и других площадях. Реки плинсбахского века явно унаследовали русла более древних, но их долины стали шире.

В **тоарском веке** произошло некоторое расширение акватории морского бассейна и его углубление. Осадки стали более глинистыми, хотя в большинстве своем относятся к озерно-болотным и пойменным фациям. На отдельных площадях выделяются русловые пески, особенно на юго-востоке и северо-западе плиты. На повышенных формах палеорельефа накопления осадков не происходило. К ним принадлежали наиболее приподнятый участок Сургутского свода, Нижневартовский, Каймысовский, Средневасюганский своды, Александровский, Пайдугинский и ряд других поднятий. Разрастаются и закладываются новые речные долины. К сожалению, их расположение пока не удалось проследить не только в прогибах и впадинах, по которым протекали палеореки, но и там, где они впадали в море. В связи с расширением поисков нефти и газа в северных районах Тюменщины особый интерес приобретает детальное восстановление палеодельт раннеюрского времени.

С этих позиций серьезного внимания заслуживают многие современные реки, указывающие на общее направление древней гидрографической сети. Так, в Чулымо-Енисейской впадине когда-то протекала Праангара, которая впадала в море, находившееся на территории Западной Сибири. Дело в том, что нижнее течение современного Енисея возникло только в неогене, а до этого он был, очевидно, притоком Ангары. Даже в наши дни Ангара по площади водосбора превышает нижнюю часть Енисея в три раза. При выходе из Прибайкалья Праангара в раннеюрское время на значительном протяжении была горноравнинной рекой и лишь в позднеюрское приобрела равнинный характер. Второй крупной рекой была Пракаменная Тунгуска, которая дренировала более обширную площадь, чем Праангара. Возможно, что в ранней юре эти две реки сливались в нижнем течении в одну. Третья довольно крупная река — Прачулым — протекала юго-западнее и приносила в тот же морской бассейн терригенный материал с Кузнецкого Алатау и западных отрогов Восточного Саяна. Устья всех трех палеорек находились вблизи друг от друга и образовывали обширнейшую аллювиально-дельтовую равнину.

Основным элементом древнего ландшафта служили наземные многорукавные протоки и русла дельты, а также авандельты, уходившие под воду. Дельтовые рукава впадали в мелководное опресненное море, глубина которого не превышала 15—20 м. На это указывает широкое развитие осадков заливно-лагунного прибрежья и открытого мелководья. На внешнем крае побережья находились лагуны и лиманы, отделенные от моря барами, подводными банками и косами. Естественно, что положение дельт менялось в результате регрессий и трансгрессий, но там, где они существовали относительно продолжительное время, складывались благоприятные условия интенсивного последующего нефтегазонакопления.

Ааленский век среднеюрского времени отличался от предыдущего незначительным сокращением морского бассейна. В юго-западной и южной части плиты несколько расширилась денудационно-аккумулятивная равнина. Озерно-аллювиальная обстановка осадконакопления существовала в Приуральской части, за исключением Северо-Сосьвинской и Щучьинской возвышенностей. Усилился эрозионный врез речных долин, наиболее крупные из которых располагались на юго-западе, юге и востоке.

Байосский, батский и раннекелловейский века почти сохранили ту же физико-географическую обстановку, которая господствовала и в аалене. Мелководное море распространяется на территорию Ямала и заливом вдается на юг в Пур-Тазовское междуречье. Границы его непостоянны, но изменяются в незначительных пределах. Речные долины отмечаются на западе и юго-западе плиты, а также и восточной ее части. Климат в среднеюрское время оставался умеренно-теплым и влажным.

Келловейский век позднеюрского времени ознаменовался началом значительной перестройки палеогеографической обстановки, вызванной крупнейшей трансгрессией моря, которое проникло далеко на юг, а на западе подступило к Уралу. Воды его покрыли почти всю равнину. Прибрежная равнина примыкала к морскому бассейну с юго-востока и востока. На ней же располагались лагуны, озера и речная сеть. Аллювиально-дельтовые отложения отмечены в юго-западной части плиты.

В **оксфордский век** ландшафтная обстановка не претерпела каких-либо значительных изменений. Несколько углубилась западная половина моря, однако в полосе, примыкавшей к Уралу, оно было мелководным. Здесь же находился архипелаг островов, и среди них — довольно большой Северо-Сосьвинский остров. Во второй половине века началась регрессия морского бассейна.

Кимериджский век характеризуется новой трансгрессией. Расширяется морская акватория, поглощая заливы, лагуны и низинное побережье. Только на крайнем юго-востоке и юго-западе плиты сохраняется денудационно-аккумулятивная равнина с речными долинами и руслами, которые в последующие века были снивелированы или размыты.

В **волжский век** позднеюрского времени произошли небольшие изменения границ морского бассейна, хотя трансгрессия достигла максимальных размеров. Море затопило окраины Северо-Сосьвинского архипелага и на востоке переместилось к району нынешнего г. Норильска. Накопление осадков шло в условиях некомпенсированного прогибания, вдали от источников сноса, в восстановительной среде. Существует мнение, что волжская трансгрессия вызвана не опусканием осадочного бассейна, а подъемом уровня Мирового океана, что привело, в свою очередь, к снижению скорости осадконакопления. Отложения волжского яруса (баженовская свита) выражены битуминозной, в основном глинистой, толщей, содержащей в среднем 8—15% органического вещества.

Бериасский и ранневаланжинский века раннемелового времени почти не внесли изменений в границы морского бассейна, но самая глубоководная его часть размещалась только в западной половине Ханты-Мансийской и Надымской впадин, у восточны склонов Северо-Сосьвинской гряды и Восточно-Туринской моноклинали. На востоке плиты обширное мелководье переходило в низменную равнину, по которой текли реки, бравшие свое начало на возвышенном обрамлении Западной Сибири. В Чулымо-Енисейском районе образовалась аллювиально-дельтовая область.

В **поздневаланжинский век** морской бассейн хотя и стал менее глубоководным, однако по-прежнему занимал территорию почти всей плиты. В Тазовском районе возникает дельта крупной реки. По-видимому, это была предшественница современной Нижней Тунгуски.

Готеривский век характеризуется дальнейшей регрессией моря, начавшейся еще в валанжине. Постепенно мелея, оно одновременно смещается на запад. Еще в валанжине в Нижневартовском районе располагалась обширная устьевая область трех крупных рек, в дельтовых и авандельтовых отложениях которых сосредоточены основные запасы Самотлора. По мере отступления восточной границы моря к западу эти устья древних рек переместились в Сургутский район, где также образовался узел интенсивного нефтенакопления. Во второй половине готеривского века происходит дальнейшее сокращение морского бассейна и расширение площади аллювиальных отложений.

В **барремский век** море еще больше сокращается и мелеет и становится теперь обособленным реликтовым бассейном типа современного Каспия. Остальная часть Западной Сибири представляла собой аллювиально-озерно-болотную равнину с кое-где слегка возвышавшимися участками.

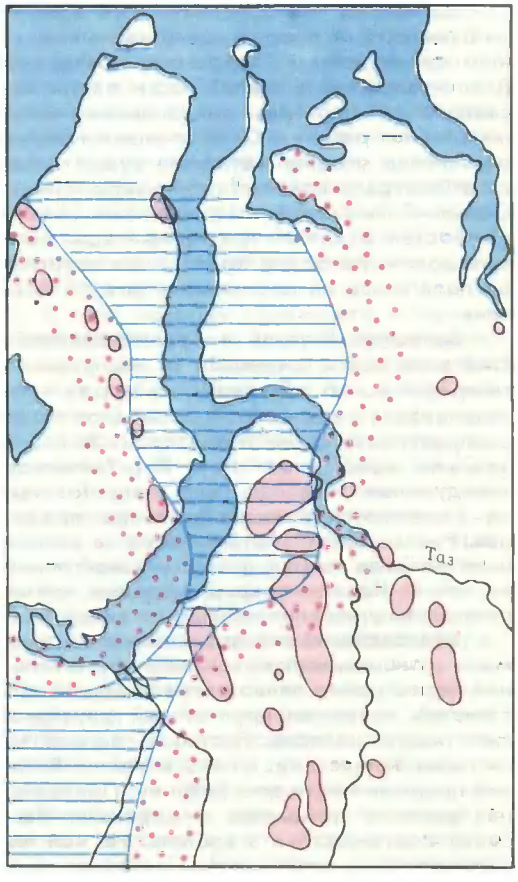
Аптский век ознаменовался очередной трансгрессией моря, расширившего свою акваторию несколько к востоку. Условия континентального осадконакопления оставались почти прежними с разветвленной сетью рек.

В **альбский век** морской бассейн охватывал почти всю западную половину плиты, а на восточной продолжала существовать озерно-аллювиальная низменность, периодически заливаемая трансгрессировавшим морем. За альбское время морские границы менялись неоднократно. Поэтому палеогеографические карты, составленные для века, не в состоянии отразить тех физико-географических перемен, которые в конечном счете, безусловно, влияли на процессы нефтегазонакопления. Необходима серия детальных палеогеографических реконструкций для отдельных пластов. Только в таком случае будет отражена динамика осадконакопления во времени и палеогеографические карты станут хорошим ориентиром для выбора направления поисково-разведочных работ.

Сеноманский век принес незначительные изменения. Морской бассейн, как и раньше, занимал западную часть плиты, и его границы, особенно восточные, часто перемещались. В прибрежной зоне накапливались довольно мощные толщи песчаников дельтового, барового, дюнного и подобного типов. На аккумулятивной аллювиально-озерно-болотной равнине формировались глинисто-песчаные и песчаные отложения, а также торфяники. Вдоль древних берегов сеноманского моря открыты крупнейшие скопления газа — Уренгойское, Ямбургское, Медвежье, почти все скопления на п-ове Ямал. И, очевидно, это еще далеко не все, что заключено в сеноманском поясе нефтегазонакопления.

Туронский век выделяется значительной морской трансгрессией, распространившейся на бóльшую часть Западной Сибири. Обширное море продолжает существовать в **коньякский** и **сантонский века**, а также в **кампанский**. В конце мелового периода оно постепенно мелеет и в **датский век** сокращает свои размеры. Не занятые морем окраины оставались низменными аккумулятивными равнинами.

Таково в самых общих чертах физико-географическое прошлое Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна. Оно помогает полнее осмыслить настоящее этого бассейна и наметить дальнейшие пути освоения его топливно-энергетических ресурсов.



Реконструкция береговой линии Сеноманского моря. Видно, что современные месторождения газа расположены в основном на берегу моря и на его шельфе.

скопления газа

Сеноманское море

береговые отложения

БЛИЖАЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ И ЗАДАЧИ

Даже при всей недостаточности литологической и стратиграфической информации о разрезе продуктивных толщ и их генетической природе нетрудно и по имеющимся уж данным сделать выводы о решающей роли в нефтегазонакоплении физико-географических и биолого-геохими-

ческих условий осадконакопления. Оптимальное соотношение эти и другие предпосылки формирования скоплений углеводородов находят в прибрежной зоне морей, и прежде всего в самой благоприятной части этой зоны — устьях крупных рек. Все это так, однако для дальнейшего успешного продолжения поисков нефти и газа одного общего представления о положении древних морей и особенностях палеосуши сегодня уже мало.

Определяя направление дальнейших поисков как структурных, так и нетектонических залежей углеводородов, нельзя обойтись без четкого выяснения границ древних морей и континентов. И для того чтобы все это выяснить и систематизировать, необходимо существующие палеогеографические схемы веков дополнить детальными палеогеографическими картами отдельных горизонтов и, по возможности, пластов. Особый интерес представляет детальное воссоздание древних прибрежных зон и находящихся в их пределах устьев, что равносильно установлению поясов и узлов нефтегазонакопления.

Поскольку в Западно-Сибирском бассейне ни одна даже из числа известных ископаемых дельт полностью не оконтурена и достаточно не изучена, вполне целесообразно, чтобы палеогеографические карты составлялись специально с целью прогнозирования наиболее вероятного местоположения устьев палеорек или уточнения морфологических особенностей дельтовых областей, там где они обнаружены бурением. К решению такой довольно сложной задачи следует привлечь геофизические методы разведки, параметрическое бурение, использование космических снимков земной поверхности. Для повышения достоверности палеогеографических построений решающая роль принадлежит четкой стратиграфической разбивке отложений юры и мела на всей территории Западной Сибири. Существующие местные стратиграфические схемы не только несовершенны, но и трудно сопоставимы даже на небольших расстояниях.

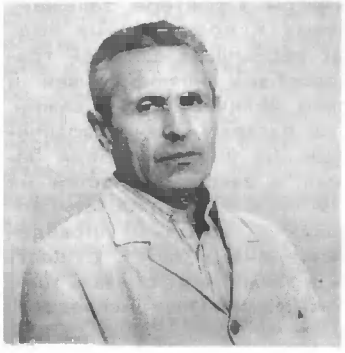
Западносибирские геологи большие надежды возлагают на нефтеносность баженовской свиты волжского яруса. Ее отложения сложены битуминозными глинистыми, часто кремнистыми и карбонатными породами. Уникальность свиты, расположенной на площади около миллиона квадратных километров, заключается в том, что ее породы одновременно являются и нефтематеринскими и нефтевмещающими. Залежи нефти в них встречаются среди отдельных линз и ограниченных пластовых тел тех же глинистых отложений. Подвижная нефть заполняет связанные между собой микрополости, которые возникли либо в процессе преобразования твердой фазы органического вещества в нефть и газ, либо из-за различных условий седиментации. Не исключена возможность расслаивания плотных глинистых пород в результате катагенеза. Генетическая природа коллекторских особенностей пород свиты до сих пор остается неразгаданной. Специфика продуктивных горизонтов выражается в наличии аномальных высоких пластовых давлений, замкнутом характере залежей, отсутствии краевых и подошвенных вод.

Поиск таких необычных залежей традиционными способами неэффективен и требует большого количества скважин. Вместе с тем, не раскрыв причин возникновения проницаемых участков среди баженовской толщи и закономерностей их распространения, нельзя разработать достаточно обоснованной методики проведения поисково-разведочных работ. Существенную помощь в этом могут оказать тщательные литолого-фациальные исследования, направленные на воссоздание рельефа дна Баженовского моря, влияния речного стока, распределения биоценоза, гидродинамического режима и других условий седиментации. Разумеется, для этого придется пробурить ряд параметрических скважин с максимальным отбором керна.

Все большую актуальность приобретает проблема изучения нефтегазоносности палеозойских отложений осадочного чехла, среди которых на отдельных площадях отмечаются нефтегазопроявления и даже выявлены залежи углеводородов. Для более полной оценки степени продуктивности палеозойских горизонтов в различных районах плиты, несомненно, наряду с геотектоническими, геохимическими и другими исследованиями важное значение будут иметь и палеогеографические реконструкции.

Древнейшее земледелие на Ближнем Востоке

Н. Я. Мерперт



Николай Яковлевич Мерперт, доктор исторических наук, профессор, заведующий сектором неолита и бронзового века Института археологии АН СССР. Занимается проблемами древнейшей истории Восточной Европы и Переднего Востока. Исследовал раннеземледельческие памятники в Месопотамии и на Балканах. Руководитель и участник археологических экспедиций в степной полосе Юга СССР, в Монголии, Болгарии, Египте и Ираке. Автор монографий: Из древнейшей истории Среднего Поволжья.— Материалы и исследования по археологии СССР. М.: Наука, 1958, № 61; Древнейшие скотоводы Волжско-Уральского междуречья. М.: Наука, 1974; Раннеземледельческие поселения Северной Месопотамии (в соавторстве с Р. М. Мунчаевым). М.: Наука, 1981.

ВЕЛИКИЙ ПЕРЕЛОМ В РАЗВИТИИ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

Около 10 тыс. лет назад начался процесс, знаменовавший кардинальный перелом в ходе развития человечества. В недрах существовавшей сотни тысяч лет системы присваивающей экономики, основанной на использовании даров природы, прежде всего ее пищевых ресурсов, — т. е. на охоте, рыболовстве и собирательстве, — возникла принципиально новая система. В основе ее лежало активное воздействие человека на природу, целенаправленное изменение ее явлений, искусственное умножение и совершенствование ее ресурсов. Впервые наряду с добычей пищи возникло ее производство. Значение этого перелома трудно переоценить. Любая община охотников, рыболовов и собирателей, даже самая опытная и живущая в оптимальном естественном окружении, ограничена в своих хозяйственных возможностях лишь использованием готовых природных ресурсов. Совершенствоваться она может только в методах их присвоения. Умножить же их, повлиять на их плодородие и естественный ареал она не способна. Тем самым резко лимитируется возможность контроля над пищевыми ресурсами. Человек находится в прямой и полной зависимости от природной ситуации и природных катаклизмов, от условий конкретных районов и конкретных периодов.

Естественно, что и в эту бесконечно длительную эпоху процесс взаимодействия человека и природы был многообразен и динамичен. Совершенствование орудий, развитие и обогащение человеческой деятельности, освоение все новых видов природных ресурсов, более глубокое познание и более продуктивное их использование обусловили выработку новых форм адаптации и формирование различных хозяйственно-культурных типов, расширение ойкумены, определенный рост численности населения, углубление общего познания мира. Но характер всех этих процессов, их темп и масштаб в условиях абсолютного господства присваивающей экономики были заметно ограничены.

Возникновение производящей экономики, и прежде всего основных, определяющих ее отраслей — земледелия и скотоводства, — принципиально изменило самый характер взаимодействия человека и природы, резко повысило возможности человеческой адаптации. Сбор дикорастущих злаков в немногочисленных областях естественного их произрастания сменился их

выращиванием, культивацией, переносом на новые земли со все более значительным расширением их ареала. Охота на диких животных сменилась их приручением, а далее и одомашниванием. Формировались абсолютно новые хозяйственно-культурные типы, значительно более продуктивные и стабильные. По справедливому заключению английского археолога В. Г. Чайлда, человек впервые получил возможность контроля над собственными пищевыми ресурсами и умножения их.

ПОСЛЕДСТВИЯ ПЕРЕЛОМА

Все эти важнейшие изменения привели к неисчислимым последствиям. Они коснулись фактически всех сторон жизни человечества. Достаточно назвать лишь некоторые из них.

Численность населения ойкумены, естественно, возрастала и в предшествующие эпохи, но возрастала чрезвычайно медленно. С переходом к производящей экономике темп этого роста резко изменился. Цифры здесь сугубо относительны. Но демографические исследования[1] позволяют все же предполагать, что население Земли к началу указанного перехода (т. е. к концу IX тыс. до н. э.) — спустя сотни тысячелетий развития в условиях присваивающей экономики — не превышало 5 млн человек. А за одно последующее тысячелетие, отмеченное становлением производящего хозяйства в первичных его очагах, оно возросло более чем в 16 раз. В самих очагах плотность населения резко увеличивалась, вызывая необходимость освоения все новых территорий, а следовательно, выработки новых форм адаптации, связанных с совершенствованием основных отраслей производящей экономики.

Человек теперь активно воздействовал на природное окружение и изменял его, увеличивая необходимые жизненные ресурсы за счет искусственного распространения культивируемых растений и одомашненных животных из областей естественного их обитания на вновь осваиваемые земли. Изменился характер производительной деятельности. Раньше она была направлена на добычу готового продукта и сфера ее была соответственно ограничена. Ныне она направлена на расширение и совершенствование самого производства и сфера ее стала практически беспредельной. Непрестанно возрастающие потребности производства обусловили постоянные поиски и иной темп технического прогресса. Оседлость и создание стационарных поселков, ранее отмечавшиеся как исключения и лишь в специфических условиях отдельных районов, ныне стали закономерностью для областей древнейшего земледелия. Резкое обогащение комплексов орудий, предопределенное новыми формами хозяйства, потребовало новых технических приемов и более глубокого познания материалов, а далее и освоения новых их видов. А это, в свою очередь, обусловило не только внутреннее развитие коллективов, но и заметную активизацию связей между ними, рост обмена и возможностей взаимодействия, распространения экономических и культурных достижений, диффузии идей и конкретных производственных навыков. И само внутреннее развитие в значительной мере обогащалось и стимулировалось такими контактами.

Одним из условий расширения сферы человеческой деятельности явилось перераспределение необходимого для нее фонда времени. При господстве охотничье-рыболовческого хозяйства подавляющая часть «производительного времени» наиболее дееспособных членов коллектива затрачивалась на добывание пищи. С переходом от присвоения продуктов к их производству, когда сами циклы земледельческих работ и уход за домашними животными потребовали уже значительно меньших затрат времени, определенная его часть высвободилась для других направлений человеческой деятельности. С появлением земледелия и скотоводства неизмеримо возросла возможность получения прибавочного продукта, что сыграло решающую роль во всем дальнейшем процессе социально-экономической истории.

С производящими формами экономики связана и новая ступень в познании природы, более «глубинный» характер проникновения в ее феномены, новые представления об их взаимосвязи, кардинальные сдвиги в общем мировосприятии, культуре, искусстве.

Наконец, отмеченные выше и обусловленные всей суммой связанных с производящим хозяйством явлений, контакты и взаимодействие коллективов приводили к консолидации значительных их групп. Группы эти были объединены общей экономической системой, близкими формами культуры и идеологических представлений, что способствовало все большему сближению составлявших их коллективов и сыграло определенную роль в этнической истории человечества.

[1] Deevey E. S.— Sci. Am., 1960, Sept., p. 1.

Древнейшее жатвенное орудие собирателей злаков (натуфийская культура, Палестина, X—IX тыс. до н. э.). Этот уже несколько изогнутый предок серпа имел роговую основу и составное лезвие из кремневых пластин.

Человеческий череп, покрытый гипсовой маской с раковинами, имитирующими глаза (докерамический Иерихон, VIII тыс. до н. э.).

«НЕОЛИТИЧЕСКАЯ РЕВОЛЮЦИЯ»

Последствия перехода к производящей экономике были воистину революционны. Некоторые исследователи — с известной долей увлечения, но весьма образно — считают, что этот процесс по значению своему сопоставим с самим феноменом антропогенеза, с выделением изготовлявших орудия гоминидов из остального животного мира несколько миллионов лет назад. Он лежит в основе всего дальнейшего развития человечества, всей социально-экономической и культурной истории. Поэтому закономерным и оправданным представляется предложенный для него В. Г. Чайлдом термин «неолитическая революция». При всей своей условности такой термин правильно отражает создание системы производящего хозяйства в первичных самостоятельных его очагах именно в неолитическую эпоху и революционный характер многосторонних изменений в жизни человечества, обусловленных этим важнейшим явлением.

Еще раз подчеркну, что указанный термин относится прежде всего к первоначальным центрам, где формирование производящих форм экономики происходило самостоятельно, в процессе внутреннего развития. Далее следовало все более широкое распространение этих форм на новые территории. Оно, в свою очередь, вызывало и выработку новых конкретных форм производящей экономики и, соответственно, многообразные изменения в жизни населения этих территорий. Но эти явления были уже обусловлены решающими воздействиями первоначальных очагов, и распространение на них понятия «неолитическая рево-

Каменные основания построек Телль-Магзалии (Северо-Западный Иран, начало VIII — первая половина VII тыс. до н. э.).

Обломки зернотерок из Телль-Магзалии.

Наконечники стрел и лезвия серпов из Телль-Магзалии.

люция» далеко не всегда закономерно: вопрос о нем должен рассматриваться особо в каждом отдельном случае.

Значение перехода от присвоения пищи к ее производству было определено в результате этнографических исследований уже более 100 лет назад. Оно с предельной четкостью сформулировано в знаменитой схеме Моргана—Энгельса. Что же касается первоначальных центров этого процесса, то здесь решающую роль сыграли палеоботанические труды нашего великого соотечественника Н. И. Вавилова, прежде всего его учение о первичных очагах культурных

Вход на внутреннюю лестницу Боевой башни Иерихона (VIII тыс. до н. э.), сохранившейся на высоту 9 м. Перекрывавшие друг друга остатки стен в этом сооружении докерамического Иерихона образовали толщу свыше 13 м.

растений[2]. На основе огромного ботанического материала им были выделены семь основных центров: пять в Старом Свете (южноазиатский, восточноазиатский, югозападноазиатский, средиземноморский и эфиопский), два — в Новом (центральноамериканский и андийский). Тем самым было дано главное направление всем дальнейшим исследованиям проблемы — и биологическим и историческим.

ПРИЧИНЫ И УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

В археологической науке проблема эта впервые была поставлена В. Г. Чайлдом[3] в 1925 г. И сразу же возник ряд основных вопросов, касающихся причин, предпосылок, механики, общего характера этого важнейшего явления, специфики его в конкретных областях. Сам В. Г. Чайлд обратился при этом к Ближнему Востоку. Здесь он видел возможный центр происхождения производящей экономики, из которого она стала распространяться на прочие территории, прежде всего в Европу, еще за тысячелетия до условного начала древней истории. Решающей причиной перехода к земледелию и скотоводству В. Г. Чайлд считал климатические сдвиги на грани плейстоцена и голоцена, когда, с отступлением ледника в континентальной Европе, увлажнявшие до этого Северную Африку и Аравию дожди передвинулись к северу, что привело к иссушению большей части Ближнего Востока. Иссушение резко уменьшило возможности охоты и собирательства, поэтому неселение группировалось теперь в оазисах, где естественная концентрация растений, животных и людей привела ко все более усиливающемуся взаимодействию, к своего рода трехстороннему симбиозу, завершившемуся доместикацией.

При формальной своей логичности, «оазисная теория» В. Г. Чайлда была лишена фактологической базы и являлась четким примером принципа географической обусловленности. Однако дальнейшие исследования не подтвердили ни связи древнейших очагов доместикации с намеченными оазисами, ни значительного иссушения Ближнего Востока в конце плейстоцена (хотя определенные климатические сдвиги в этот период ныне подтверждаются палинологическими данными). Они заставили полностью пересмотреть и вопрос о моноцентричности «неолитической революции», о едином ближневосточном очаге ее и ограничении механики процесса диффузией из этого очага. Ныне глубокие внутренние процессы, самостоятельно приведшие к началу производящего хозяйства, прослеживаются фактически во всех «вавиловских центрах». Но Ближний Восток (т. е. югозападноазиатский центр) и сейчас представляется среди них одним из наиболее древних и значительных. Здесь получены весьма показательные материалы, документирующие последовательные этапы «неолитической революции» и, наряду с материалами Центральной Америки, чаще всего привлекаемые для определения общих ее закономерностей. В исследовании этого региона значительную роль сыграли и работы Советской археологической экспедиции в Ираке, в которых автор настоящей статьи участвовал на протяжении 11 лет. Поэтому и в

[2] Вавилов Н. И. Центры происхождения культурных растений.— Тр. по прикладной ботанике и селекции, 1926, т. 16, № 2; см. также: Янушевич З. В. Палеоэтноботанические исследования в древнейших земледельческих центрах.— Природа, 1981, № 8, с. 65.

[3] Childe V. G. The Down of European Civilization. L. 1925; Idem. Man Makes Himself. N. Y., 1951.

статье основное внимание будет уделено ближневосточным материалам.

Именно эти материалы дали основание для альтернативы «оазисной теории». Американский археолог Р. Брейдвуд[4], проведя широкие исследования доземледельческих и раннеземледельческих поселений в Курдистане, пришел к заключению, что переход к производящей экономике явился результатом «... возросшей в определенный момент культурной дифференциации и специализации человеческих общин». Правильно подчеркивая роль в этом процессе технико-экономического фактора, он связывал максимально действенное проявление его с областями наибольшей концентрации диких предков впоследствии доместицированных растений и животных. Такой оптимальной областью Р. Брейдвуд считал предгорья Загроса, в которых видел «основное территориальное ядро» процесса первичной доместикации.

В этой связи отмечу, что ныне нельзя говорить о едином «ядре» этого процесса даже в пределах конкретного ближневосточного центра. Этнографические и палеоботанические исследования показывают, что доместикация стимулировалась прежде всего не в самих «оптимальных областях», а на их окраинах, где недостаточность естественных пищевых ресурсов вызывала необходимость искусственного их умножения. Нельзя говорить и лишь о единственном факторе, обусловившем процесс, сколь бы важен он ни был. В ходе дальнейшей разработки проблемы значительное внимание привлекли и другие факторы, и прежде всего экологический аспект, вопросы изменений в адаптации и общем взаимодействии человека со средой, особенно в кризисные моменты, вызванные либо природными катаклизмами, либо ростом народонаселения, превышавшим фонд естественных пищевых ресурсов конкретных областей.

Из западных исследователей с наибольшей широтой подошел к проблеме К. Флэннери[5] (США). Учитывая ряд взаимосвязанных факторов, он попытался выяснить механику перехода к производящей экономике с помощью системы последовательных экономических моделей, отражающих совершенствование использования человеком природных ресурсов, и прежде всего усиление преобразующего фактора в процессе, ведущем к производству пищи. Уже для конца плейстоцена им правильно отмечены расширение присваивающего хозяйства, рост его технической оснащенности и продуктивности. В связи с подобными прогрессивными сдвигами подчеркивается многоресурсность экономики этого периода, использование растений и животных различных экологических ниш в разные сезоны, что, в свою очередь, предполагало сезонные передвижения и необходимость определенной их регламентации. В дальнейшем это привело к заметным изменениям в отношениях между людьми, растениями и животными, обитавшими в различных биотопах, способствовало естественному, а далее и бессознательному искусственному отбору с созданием особых популяций. С другой стороны, этим обусловлены демографические сдвиги, рост населения как внутри «оптимальных областей», так и на их окраинах, где повышение эффективности использования пищевых ресурсов требовало максимальной человеческой активности, приведшей в конце концов к возникновению земледелия. Определенное значение имели здесь климатические колебания в конце плейстоцена, способствовавшие расширению ареала злаков. Но решающими факторами К. Флэннери считает отмеченные выше особенности человеческого развития и наличие технологических предпосылок, обусловивших саму возможность освоения новых территорий с культивацией перенесенных на них растений. Особо подчеркну, что этот исследователь уже вполне определенно постулирует полицентризм процесса перехода к производящей экономике.

В советской научной литературе «неолитической революции» на Ближнем Востоке посвящен целый ряд исследований (В. М. Массона, В. С. Титова, Б. В. Андрианова, Г. Н. Лисицыной, В. А. Шнирельмана, С. А. Семенова и др.)[6]. Для их авторов ха-

[4] Braidwood R. T. Prehistoric Man. Chicago, 1974, p. 92.

[5] Flannery K. V. Archaeological sistems Theory and Early Mesoamerica.— In: Prehistoric Agriculture. N. Y., 1971, p. 80; Idem. Origins and Ecological Effects of Early Domestication in Iran and the Near East.— In: The Domestication and Exploitation of Plants and Animals. Chicago, 1969, p. 73.

[6] Массон В. М. Поселение Джейтун.— Материалы и исследования по археологии СССР. М.: Наука, 1971, № 180; Титов В. С. Первое общественное разделение труда. Выделение земледельческих и скотоводческих племен.— Краткие сообщения Института археологии АН СССР, вып. 88. М.: Наука, 1962; Андрианов Б. В. Земледелие наших предков. М.: Наука, 1978; Лисицына Г. Н. Становление и развитие орошаемого земледелия в Южной Туркмении. М.: Наука, 1978; Шнирельман В. А. Происхождение скотоводства. М.: Наука, 1980; Семенов С. А. Происхождение земледелия. Л.: Наука, 1974.

рактерен комплексный подход к проблеме, учет и критическая оценка всех основных факторов, определивших этот сложный и многосторонний процесс перехода к производящей экономике.

Географические его рамки в пределах югозападноазиатского «вавиловского центра» могут быть намечены ныне от Анатолийского плато до Средней Азии и от Палестины до Закавказья. Одной из важнейших его предпосылок явилось расширение сферы и усложнение присваивающего хозяйства, обусловленные причинами как антропогенного, так и естественного характера. К первым должны быть отнесены огромный опыт взаимодействия с природой, накопленный человеком за многие сотни тысячелетий развития, совершенствование орудий и общей технической базы человеческой деятельности, распространение ее на различные экологические ниши, что привело к многоресурсности экономики, выработке новых, более интенсивных ее форм (сезонные перемещения) и их определенной регламентации. Вторые связаны с климатическими сдвигами на грани плейстоцена и голоцена — некоторым потеплением и увлажнением, вследствие чего расширился ареал диких съедобных растений. Сочетание этих факторов заметно увеличило и стабилизировало источники питания человека, что, в свою очередь, повлекло за собой значительный рост народонаселения. Давление на экономику все более нарастало и вело к демографическому взрыву, еще более обострившему необходимость дальнейшей интенсификации хозяйства. Регулярный сбор и использование диких злаков, для предшествующих периодов засвидетельствованные лишь спорадически, получают теперь широкое распространение. В наиболее богатых подобными ресурсами областях возникают оседлые поселения. Таковы Эйнан и Маллаха — в Палестине, Мюрейбит — в Северной Сирии, Зави-Чеми-Шанидар и Гандж-Дарех-Е — в Загросе. Все они относятся к IX тыс. до н. э. На них зафиксированы уже следы домостроительства.

Стабильность поселений обусловливалась прежде всего интенсивным собирательством диких съедобных растений — злаков и бобовых. Изготовление соответствующих орудий их обработки засвидетельствовано находками жатвенных ножей с составными лезвиями из кремния и обсидиана, растительных камней, ступ. Возрастает число костей животных, впоследствии подвергшихся одомашниванию. Долговременные поселения сочетаются с культурно близкими им временными стоянками, что позволяет говорить о сезонности хозяйства с использованием различных экологических ниш в пределах четко очерченных районов. Расширяя возможности добычи пищи, сезонное хозяйство в сочетании со стабильностью базовых поселений сыграло значительную роль в подготовке демографического взрыва. Последствия же этого взрыва более всего ощущали на окраинах ареалов растений, уже регулярно употреблявшихся в пищу. Ситуация особо обострялась в периоды климатических колебаний, вызывавших периодические неурожаи. Попытки противостоять этим явлениям и восстановить нарушаемый ими пищевой баланс привели к первым опытам культивации растений и распространения их за пределы оптимальных областей. Такие опыты и означали начало перехода к производству пищи, перехода от предпосылок новой экономической системы к самой «неолитической революции».

Процесс перехода отнюдь не был единовременным. Формы культурного развития никогда не были единообразными по всей рассматриваемой территории, нововведения не были одноразовыми и не ограничивались едиными центрами. Но в целом ряде районов Ближнего Востока в VIII—VII тыс. до н. э. возникают поселки, резко отличные от предшествующих. И главное их отличие — в сохранившихся на них свидетельствах культивации злаков и складывающегося уже земледелия, которое и обусловило чрезвычайную долговременность этих поселков, быстрое их усложнение и совершенствование.

ФОРПОСТЫ НОВОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Уже в так называемом слое А докерамического Иерихона (Палестина), т. е. на грани IX—VIII тыс. до н. э., найдены зерна доместицированных пшеницы-двузернянки и пленчатого двурядного ячменя. Подобные же находки (к ним следует прибавить еще пшеницу-однозернянку, чечевицу, горох) засвидетельствованы на ряде поселений Иордании (Бейда), Сирии (нижний слой Рас-Шамры), Западной Анатолии (Хаджилар), Юго-Восточной и Южной Турции (Чайоню-Тепези, Чатал-Гуюк), Загроса (Джармо, Тепе-Гуран, один из нижних слоев Гандж-Дареха), Юго-Западного Ирана (Али-Кош). На этих же поселениях найдены и кости одомашненных животных — козы, овцы, коровы, собаки.

Сами поселения знаменуют характерный для «неолитической революции» быстрый прогресс ряда сторон жизни их создателей. Вырабатываются определенные архитектурные формы и строительная техника. Возникают достаточно сложные фортификационные сооружения (Иерихон, Бейда, нижний слой Рас-Шамры), как бы подчеркивающие экстраординарность древнейших земледельческих поселений, резко вырвавшихся вперед по своему развитию и окруженных массой охотничьего населения. Быстро совершенствуется домостроительство. Формируется специфический земледельческий комплекс орудий и сооружений (от серпов до зернохранилищ). Значительное распространение получают каменные (а в самом конце периода и глиняные) сосуды, указывающие на совершенствование навыков в использовании и хранении пищевых продуктов. Многообразие употреблявшихся создателями поселков материалов говорит о существовании активных и далеких связей. На поселениях найдены и обсидиан из кратеров Южной Турции и Армянского нагорья, и иранская бирюза, и раковины с побережья Персидского залива, наконец, медь и свинец. Искусство связано уже прежде всего с мировосприятием древних земледельцев и представлено символическими изображениями людей, животных и растений, а иногда и целыми композициями, которые также носят символический характер и включают целый ряд различных фигур, объединенных единым сюжетом (таковы многокрасочные рельефы и фрески поселения Чатал-Гуюк в Южной Турции; см. 3-ю с. обложки).

Замечательным примером древнейших памятников земледельцев Ближнего Востока может служить поселок Телль-Магзалия, открытый и исследованный Советской археологической экспедицией в Синджарской долине (Северо-Западный Ирак). Он стоял на высоком холме над небольшой речкой, сбегающей с гор в долину. Свыше 8 м культурного слоя накопились за длительный период существования поселка, охватывающий конец VIII — первую половину VII тыс. до н. э. И основу такой стабильности составляло сложившееся уже земледелие: на поселении найдены зерна твердой и мягкой пшеницы и доместицированного ячменя, а также характерный набор соответствующих орудий, зернохранилища, «хлебные печи», антропоморфные фигурки, символизирующие плодородие. Поселок неоднократно перестраивался: в культурном слое выделено не менее 15 строительных уровней при общей преемственности культурных традиций. Большие дома с мощными каменными основаниями состояли из нескольких комнат и достигали площади до 100 м^2. Поселок был огражден массивной стеной с боевой башней и специально оформленными воротами. Нижняя часть стены была выложена из камней, достигавших полутораметровых размеров. Здесь, как и в Иерихоне, Бейде, Рас-Шамре, документируется угроза постоянных нападений со стороны менее развитого (и менее обеспеченного продуктами питания) окружающего населения.

Такие поселки знаменуют завершение «неолитической революции». Они явились ее результатом, форпостами новой экономической системы. Под прямым их воздействием система эта уже в конце VII—VI тыс. до н. э. широко распространилась по речным долинам, далеко за пределами областей естественного обитания диких злаков. На смену чрезвычайно ярким, но пока еще изолированным первоначальным очагам пришли значительные сельскохозяйственные территории, на смену единичным форпостам — сотни раннеземледельческих поселений. Производящая экономика обусловила бурное развитие ряда областей Ближнего Востока, формирование здесь одного из древнейших и наиболее значительных культурных центров Старого Света.

Охрана дрофы в ГДР

Т. С. Пономарева,
кандидат биологических наук
Москва

Одна из самых крупных птиц нашей страны — дрофа (Otis tarda) находится под угрозой гибели. Не отдельным экземплярам и даже не популяциям грозит вымирание, а всему виду. Все меньше остается нераспаханных целинных участков степи, где издревле гнездилась дрофа; в Европейской части страны таких участков практически не осталось совсем. Дрофы вынуждены переходить на сельскохозяйственные земли, но здесь их подстерегает множество опасностей: обработка полей ядохимикатами губит взрослых птиц и особенно молодняк, резко уменьшается количество насекомых, составляющих важную часть питания дрофы; весенняя распашка земель уничтожает гнезда, ранняя уборка зерновых, сенокошение губит как кладки, так и маленьких птенцов; из-за того что дроф беспокоят в гнездовьях, они оставляют кладки. Кроме того, несмотря на повсеместный запрет охоты на дрофу, браконьерский отстрел уносит значительную и лучшую часть популяций. Выбивание половозрелых самцов и уничтожение старых, наиболее продуктивных самок ведет к уменьшению количества яиц в кладке: сейчас их число не превышает 2, тогда как раньше находили гнезда с 3—4, а иногда с 9—10 яйцами.

В настоящее время на большей части прежних местообитаний дрофа исчезла. Современный ареал вида в СССР представляет собой отдельные небольшие территории, разобщенные между собой. Численность европейского подвида к 1974 г. оценивалась в 7 тыс. особей, а восточного — всего в 2650[1]. С тех пор прошло более пяти лет, и ныне количество дроф стало, вероятно, еще меньше.

Надо сказать, что судьба европейского подвида во многих странах Западной Европы не менее тревожна. В послевоенные годы численность дрофы и там повсеместно сократилась, а в последнее десятилетие достигла критического уровня. Так, в 1940 г. в Австрии насчитывалось 1200 дроф, а к 1977 г. — лишь 160; в ГДР соответственно 4 тыс. и 800, в Польше — 700 и 123, в Румынии — 2 тыс. и 300, в Чехословакии — 2 тыс. и 700[2]. Ареал вида из некогда сплошного превратился в разорванный, местами — точечный. Это неудивительно, поскольку в большинстве перечисленных стран почти не остается открытых пространств в пределах степной и лесостепной зон, которые не использовались бы сельским хозяйством или промышленностью.

Под угрозой потери вида в странах Западной Европы были приняты экстренные меры по охране и восстановлению численности дрофы. Специальные заказники были созданы в Болгарии, Венгрии, ГДР, Чехословакии. Кроме того, в Венгрии, ГДР, Польше и Чехословакии организованы питомники по выращиванию дроф из яиц, взятых из неблагополучных гнезд в природе, что позволяет стабилизировать численность отдельных природных популяций.

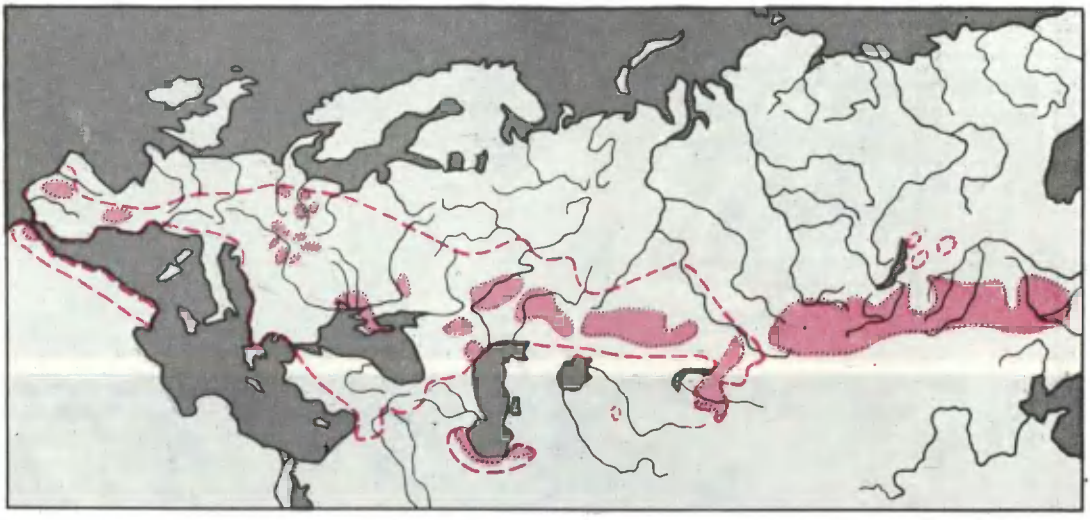
Как на практике осуществляется охрана дрофы в ГДР, мы смогли ознакомиться в июне 1979 г. в составе советской делегации по обмену опытом разведения редких видов птиц в неволе.

В связи с угрозой исчезновения дро-

[1] Исаков Ю. А. Современное распространение и численность дрофы. Необходимость осуществления проекта «Степь».— В сб.: Научн. тр. Моск. вет. акад., 1974, т. 72, с. 143.

[2] Graczyk R. Gedenwärtiger Schutz- und Restitutionsprobleme der Grosstrappen [Otis tarda L.] in Europa.— XXV Assemblée Générale Triennale. Sofia (Bulgarie) Symposium sur la Grande Outarde, 28—31 mai, 1978.

фа в ГДР была включена в число видов, подлежащих особой охране. В течение всего года на нее запрещены охота, отлов, торговля, а в период размножения — даже фотографирование. С 1972 г. в ГДР создаются резерваты, охраняющие местообитания дрофы; к 1977 г. были объявлены заказниками 25 участков ее обитания общей площадью 3 тыс. га. Так как в настоящее время дрофа гнездится главным образом на сельскохозяйственных землях, в ГДР разработана система мероприятий по сохранению природных популяций вида в районах с интенсивным развитием сельскохозяйст-



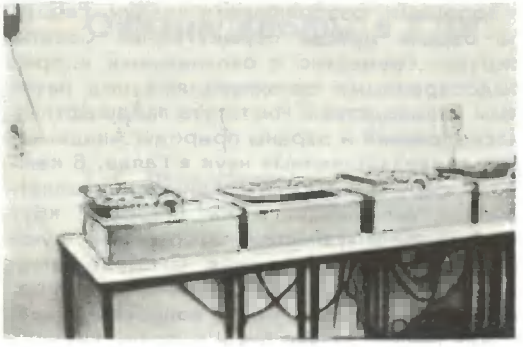
Распространение дрофы Otis tarda.

граница ареала в прошлом

современный ареал

венного производства. В местах обитания дрофы охраняются территории брачных игр; ограничивается или полностью исключается применение вредных химических препаратов; в период размножения (с 15 апреля по 3 июня) в заказниках запрещена всякая сельскохозяйственная деятельность, а на прочих землях работы ведутся с обязательным применением приспособлений на машинах для выпугивания затаившихся птиц; для осенней и зимней подкормки дроф выращиваются рапс и крупностебельная капуста; проводится борьба с сороками и воронами, разоряющими кладки. Работу по охране дрофы осуществляют Советы округов совместно с охотничьими и природоохранными организациями под научным руководством Института ландшафтных исследований и охраны природы Академии сельскохозяйственных наук в Галле. В каждом округе работает один специалист-биолог, опирающийся на широкий круг любителей-энтузиастов, которые действуют на общественных началах. Следует отметить высокий уровень пропаганды и информации среди населения по вопросам сохранения дрофы, равно как и высокий уровень сознательного отношения людей к охране природы в целом. Активное привлечение самых широких масс населения к участию в сохранении природы республики — характернейшая часть и одна из главных акций природоохранной политики ГДР.

Охотники, а также многочисленные энтузиасты любители природы, работая в тесном контакте с Советами округов и государственными природоохранительными и охотничьими учреждениями, ведут учет численности диких животных, картируют их поселения, заготовляют корма и осуществляют подкормку животных, очистку леса и его восстановление, собирают яйца дрофы из неблагополучных гнезд и т. п. Человек, который не пожалел своего времени, труда, энергии, фантазии во имя помощи природе, впоследствии не только не поднимет сам руку, чтобы сломать деревце, убить зверя или птицу, набросать мусор посреди лесной поляны, но и не позволит сделать это другим. Ощущение своей



Внешний и внутренний вид инкубатора с яйцами дрофы.

На ночь птенцов помещают в палатку без пола, обогреваемую инфракрасными лампами.

Днем птенцы свободно пасутся в вольере.

В зоопарке дроф содержат в открытой вольере с хорошим травянистым покровом и древесно-кустарниковой растительностью.

Фото автора.

нужности, причастности к общему важному делу, ответственности за все происходящее превращает людей из пассивных созерцателей и жадных потребителей в рачительных хозяев, в истинных друзей всего живого. И уже излишними становятся строгие запреты и штрафы: по внутреннему убеждению, а не по принуждению люди выполняют все те правила, без которых невозможно поддерживать экологическое равновесие в природе. Хотя в ГДР и действует строгая система штрафов за уничтожение редких видов, главную роль в охране животных, как и охране природы в целом, играет широкая пропаганда и привлечение самых разных слоев населения к участию в природоохранных мероприятиях. Воспитание с детских лет в духе бережного отношения к природе приносит ощутимые результаты: в ГДР практически нет браконьерства.

...Но вернемся к дрофе. Несмотря на все меры предосторожности, значительное количество гнезд в природе погибало в ходе сельскохозяйственных работ. Поэтому в 1974 г. в ГДР был внедрен в практику новый способ сохранения вида — искусственная инкубация яиц, взятых из гнезд, находящихся под угрозой гибели. Совет округа выделяет на материальное стимулирование людей, участвующих в проведении «Операции дрофа», около 80—100 тыс. марок ежегодно. О каждом найденном гнезде сообщение немедленно поступает в Совет округа. Специалист выезжает на место и решает судьбу гнезда. В большинстве случаев яйца забирают для искусственной инкубации на специально оборудованной для этого биостанции.

Опыты по искусственному инкубированию яиц дрофы начаты в округе Потсдам на биостанции Штекби Института ландшафтных исследований и охраны природы. С 1979 г. действует также питомник по выращиванию дрофы в Ратенове. Яйца, доставленные на биостанцию, осматривают, нумеруют, датируют и помещают в портативный инкубатор, вмещающий до 20 яиц. Отработанный режим инкубации (37,5—37,8°С) дает хорошие результаты: из 60—80% оплодотворенных яиц вылупляются птенцы. В течение первых суток дрофят держат в отдельном инкубаторе при 32—35°С, а затем переводят в покрытый сеткой ящик, размещенный на улице. Птенцы еще нежны и теплолюбивы, поэтому на ночь их помещают в вольеру или специальную палатку без пола, обогреваемую инфракрасными лампами. Так птенцы постепенно привыкают к понижению температуры.

Кормят дрофят смесью растительного и животного кормов. В природе они получают пищу из клюва матери, поэтому в неволе до 20-дневного возраста их приходится кормить с пинцета, а поить из пипетки (правда, поят дрофят только в самые жаркие дни).

Подросших птенцов на день выпускают в вольеру (деревянный ящик с сетчатым потолком, без пола) с подстриженной травой, состав которой регулируется подсевом нужных видов. По мере выщипывания и вытаптывания травы ящик передвигают на новое место. Иногда в течение дня дрофята свободно пасутся под присмотром сотрудников питомника. Кроме того, птенцов регулярно выводят на прогулку в поля сельскохозяйственных культур. Поначалу кажется, что среди переплетающихся стеблей люцерны, среди густой и высокой пшеницы малыши неизбежно потеряются. Но этого не происходит: с громким писком, преодолевая самые невероятные препятствия, дрофята бегут «гуськом» за своей приемной мамой — человеком. Такие дальние и трудные прогулки необходимы птенцам: во-первых, они привыкают к типичной гнездовой обстановке в агроценозе; во-вторых, активное движение улучшает обмен веществ.

Приблизительно в 50-дневном возрасте молодых птиц переводят в просторную вольеру, закрытую со всех сторон пластмассовой сеткой с ячеей 1×1 см. Здесь они поднимаются на крыло, крепнут и привыкают к самостоятельности. Их контакты с людьми постепенно уменьшаются и, наконец, сводятся к минимуму. Это очень важная и необходимая мера, так как при искусственном выращивании птенцы привыкают к человеку, воспринимая его сначала как свою мать, а позже — как члена своей группы, т. е. происходит запечатление (импринтинг). Чтобы выпущенные из питомника птицы вели независимый от человека образ жизни, вступали между собой в нормальные взаимоотношения, их привязанность к нему должна быть преодолена. Это достигается, главным образом, групповым содержанием птиц и постепенным уменьшением контактов с людьми, особенно с теми, кто ухаживал за ними с раннего возраста.

Ежегодно из питомника выпускают 50—60 молодых птиц. Отсутствие браконьерства и высокая сознательность населения позволяют выпускать дроф на неохраняемые территории. Воспитанные в неволе, но умело приученные к жизни в природных условиях, они нормально размножаются. Смертность

выпущенных из питомника птиц за весь период его работы (с 1973 по 1978 гг.) составила 30%.

Помимо мер по сохранению дрофы методом искусственной инкубации, на биостанции Штекби был опробован метод создания маточной стаи из птиц, отловленных в природе взрослыми. К сожалению, результаты опыта не принесли успеха. При неизбежном контакте с человеком пугливые, непривыкшие к нему дрофы лихорадочно мечутся, ударяясь о сетку и получая многочисленные переломы конечностей, впадают в угнетенное состояние, теряют аппетит и быстро погибают.

Столь же отрицательным был и опыт по созданию резервной популяции большой дрофы (Choriotis nigriceps) в Индии: за 8 лет содержания из 18 диких птиц осталось только 3, причем за все эти годы дрофы не только не размножались, но даже не проявляли половой активности. Сейчас отлов взрослых дроф для разведения в неволе прекращен, но намечены опыты по выведению птенцов из яиц, взятых в природе.

Немалую роль в создании «зоологических банков» (генетического фонда животных редких и исчезающих видов) играют зоопарки ГДР. В Берлинском зоологическом саду в числе многих редких птиц и млекопитающих удалось добиться, в частности, размножения в неволе и европейского подвида дрофы. Маточную стаю здесь составили птицы, которые выросли в неволе из диких дрофят раннего возраста, а также из птенцов, выведенных методом искусственной инкубации яиц, изъятых из кладок диких дроф. Став взрослыми, птицы совершенно не боялись даже чужих людей, а групповое содержание их в неволе способствовало преодолению последствий импринтинга. Через 6 лет, когда самец достиг половой зрелости, 2 самки отложили 4 оплодотворенных яйца, из которых вывелись 4 дрофенка. В настоящее время в зоопарке содержится группа из 7 дроф, среди которых 1 самец и 6 самок всех возрастов, в том числе и половозрелые.

В зоопарке птицы содержатся в открытой вольере (чтобы они не улетали, им подрезают крылья) с хорошим травянистым покрытием и древесно-кустарниковой растительностью. Круглый год дрофы живут под открытым небом, а в непогоду или холод могут укрываться в домиках, которые при необходимости обогреваются.

Следует отметить, что содержание в закрытой вольере, видимо, более рационально, так как делает излишним уродующее птиц подрезание крыльев и исключает возможность разорения гнезд и уничтожения дроф хищниками.

Таким образом, опыт по созданию племенной стаи дроф как на биостанции Штекби, так и в зоопарке показывает, что выращивание птиц в неволе с раннего птенцового возраста является, очевидно, наиболее перспективным. Имея маточное поголовье ручных дроф, можно проводить эксперименты по увеличению плодовитости самок с помощью последовательного изымания яиц из кладки и искусственного осеменения, а также по увеличению продуктивности птиц путем формирования оптимального возрастного и полового состава стаи производителей.

Итак, опыт наших зарубежных друзей, показывает, что можно сохранить дрофу как вид даже в густо населенных странах с интенсивным использованием земель. Многое из этого опыта может и должно быть использовано и в нашей стране.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

ПТИЦЫ СОВЕТСКОГО СОЮЗА. М. : Советская наука, 1951, т. 2.

Филонов К. ДРОФА. — Охота и охотничье хозяйство, 1973, № 5.

Химическая и динамическая эволюция Галактики

А. А. Сучков

Анатолий Александрович Сучков, кандидат физико-математических наук, заведующий кафедрой астрофизики Ростовского государственного университета. Занимается вопросами строения и эволюции Галактики.

СТРОЕНИЕ ГАЛАКТИКИ

Наша Галактика — это гигантская звездная система, состоящая почти из 200 млрд звезд, которые образуют в пространстве сложную, но достаточно правильную фигуру. Судя по фотографиям других (внешних) галактик, похожих на нашу, такие системы выглядят как тонкий диск с шарообразным утолщением в центре.

Звездный состав Галактики весьма разнообразен, и отдельные звезды часто сильно отличаются друг от друга по многим параметрам. Однако для темы нашей статьи важны такие характеристики звезд, как их возраст, химический состав, характер орбит и движений, а также пространственное положение в Галактике. Именно они имеют прямое отношение к общей структуре Галактики, к наиболее важным особенностям ее строения и эволюции. В то же время масса, температура и светимость звезд связаны с вопросами строения и эволюции Галактики в гораздо меньшей степени, и поэтому сейчас эти параметры для нас не столь важны.

Возраст звезд. Звездные населения. Возраст звезд меняется в очень больших пределах: самым старым около 15 млрд лет (это и есть возраст Галактики); среди молодых имеются звезды возрастом в сотни тысячи лет — «младенцы» в мире звездного населения; некоторые рождаются буквально у нас на глазах, они еще даже не стали звездами, а находятся в «эмбриональном», протозвездном состоянии. Но все же большинство звезд имеет промежуточный возраст — порядка нескольких миллиардов лет. К ним относится и наше Солнце.

Типичными и хорошо изученными представителями самых старых звезд являются субкарлики и переменные звезды типа RR Лиры — старое население Галактики, которое еще называют или населением II или населением гало. К нему относятся также шаровые скопления — самостоятельные, очень компактные звездные системы, содержащие до 10^5—10^6 звезд. Мы наблюдаем в Галактике более сотни этих интереснейших объектов, а общее их число составляет, по-видимому, несколько сотен.

Объекты с возрастом порядка нескольких миллиардов лет и меньше образуют население диска, или население I. Его основную часть составляют звезды главной последовательности — спектральных

классов [1] G, K, M, относящиеся к карликам. Среди очень молодых звезд выделяются яркие массивные сверхгиганты и звезды главной последовательности спектральных классов O и B. В дисковых (спиральных) галактиках, к которым относится и наша, они дают часто основной вклад в светимость всей системы в целом, но их роль в динамике галактики мала, так как на них приходится ничтожная доля массы.

К населению I принадлежат также рассеянные звездные скопления. В отличие от шаровых, эти системы содержат всего лишь 10^2—10^3 звезд. Сейчас известно около 1000 рассеянных скоплений, а их полное число в Галактике, по-видимому, около $2 \cdot 10^4$.

Наряду со звездным населением в Галактике существует межзвездный газ, масса которого составляет около 2—5% от полной массы Галактики. Бóльшая часть его находится в форме холодных (T=10—100 K), плотных (n=10—10^3 частиц/см^3) облаков молекулярного и атомарного водорода. По своему химическому составу, расположению в Галактике и характеру движения газ близок к молодым звездам, поэтому его также относят к населению диска.

Химический состав. Важнейшим результатом современной космологии является вывод о том, что на дозвездной, догалактической стадии эволюции вещество Вселенной не содержало никаких других химических элементов, кроме водорода и гелия, — т. е., не считая первых двух клеток, таблица Менделеева была девственно чиста. Но уже первые поколения звезд — сейчас это самые старые звезды Галактики — содержат элементы из всех других клеток таблицы (будем все элементы, кроме водорода и гелия, называть тяжелыми или, условно, просто металлами; их содержание в звезде, или «металличность» звезды, часто характеризуются величиной

$$[Fe/H] = \lg(N_{Fe}/N_H)_{звезда} - \lg(N_{Fe}/N_H)_{Солнце},$$

где N_{Fe} и N_H — число атомов железа и водорода соответственно). Этот факт означает, что первичное вещество Вселенной, прежде чем попасть в эти звезды, прошло где-то ядерную «переработку», в результате которой часть водорода и гелия превратилась в тяжелые элементы. Дело в том, что подавляющее большинство звезд имеет слишком малую массу, чтобы самим «вырабатывать» металлы; это способны делать только немногочисленные массивные звезды. В звездах же с массой порядка солнечной термоядерные реакции могут лишь превращать водород в гелий. Поэтому у таких звезд химический состав должен быть таким же, как и у вещества, из которого они рождаются. Отсюда и следует, что перед стадией образования первых поколений звезд вещество Галактики подверглось обогащению тяжелыми элементами.

Дисковая спиральная галактика M81, видимая под углом к лучу зрения. Наша Галактика принадлежит к системам этого типа.

[1] По типу спектра звезды делятся на классы, которые обозначаются буквами O, B, A, F, G, K, M. Этому ряду классов соответствует убывание температуры поверхности звезды: O-звезды — самые горячие, T ≈ ≈ 500000 K; M — самые холодные, T ≈ 2500 K. Кроме того, у звезд так называемой главной последовательности этот ряд соответствует убыванию светимости и массы: O-звезды в десятки тысяч раз ярче и в десятки раз массивнее, чем Солнце, а M-звезды приблизительно во столько же раз менее яркие и массивные, чем Солнце.

Процесс обогащения в Галактике продолжался и после рождения первых звезд. Об этом можно судить хотя бы по тому, что молодые звезды по сравнению со старыми в десятки и даже сотни раз богаче металлами; содержание тяжелых элементов составляет у них по массе 2—3% (как, например, на Солнце). Такое же содержание тяжелых элементов наблюдается и в современной межзвездной среде, что подтверждает генетическую связь химического состава звезд с составом газа, из которого они образуются.

Орбиты и пространственное движение. Характер орбит и движения старых и молодых звезд совершенно различен. Первые движутся в Галактике по сильно вытянутым, почти радиальным орбитам, у них большие эксцентриситеты, порядка 0,5 и больше. Молодые звезды вращаются в плоскости диска вокруг центра Галактики, имея почти круговые орбиты. Для большинства из них эксцентриситет заметно меньше 0,3—0,2. Они образуют в Галактике вращающуюся с большой скоростью подсистему, тогда как подсистема старых звезд почти не вращается. При этом одна подсистема как бы вложена в другую, и, поскольку отдельные звезды Галактики не взаимодействуют друг с другом, оказывается возможным вот такое своеобразное состояние: вращение одной звездной системы сквозь почти неподвижную в целом другую звездную систему.

Пространственное распределение. Рассмотрим теперь, как разные звезды расположены в пространстве, и после этого мы сможем связать между собой все основные характеристики образуемых ими подсистем. Как оказалось, старое звездное население Галактики довольно равномерно заполняет почти сферический объем, причем его концентрация быстро растет к центру. Молодое же концентрируется в тонкий диск, толщина которого в десятки раз меньше его радиуса. Говорят, что старое население образует сферическую подсистему, или гало, а молодое — плоскую подсистему, или диск. Совмещенность этих подсистем приводит как раз к специфическому внешнему виду Галактики: на больших расстояниях от центра в ней преобладает излучение звезд диска, а вблизи центра — излучение сферической подсистемы, и это приводит к появлению «нашлепки» на диске, к утолщению его центральной части.

Теперь мы можем сформулировать главные особенности строения Галактики. Она состоит из сферической и дисковой подсистем. Первая образована наиболее старыми звездами, бедными тяжелыми элементами; они движутся по сильно вытянутым орбитам, и вся подсистема в целом почти не вращается. Диск образован звездами меньшего возраста, которые в десятки раз богаче тяжелыми элементами; подсистема этих звезд быстро вращается. Вообще говоря, многокомпонентная структура Галактики сложнее, и часто выделяют не две, а четыре или даже пять подсистем.

ЭВОЛЮЦИЯ ГАЛАКТИКИ

Каким же образом возникла столь сложная структура? Чем объясняется описанная выше связь между столь разными характеристиками отдельных звездных компонент Галактики? Можно спросить более конкретно:

— почему старое население образует шарообразную систему, а молодое — диск?

— как могло получиться, что на одном и том же расстоянии от галактического центра удельные угловые моменты (или скорости вращения вокруг центра Галактики) подсистемы старых звезд (гало) и молодых (диск) столь радикально различаются?

— почему галактические орбиты объектов старого населения сильно вытянуты, т. е. имеют большие эксцентриситеты, а орбиты молодых — круговые (эксцентриситет близок к нулю)?

— почему старые звезды содержат меньше тяжелых элементов?

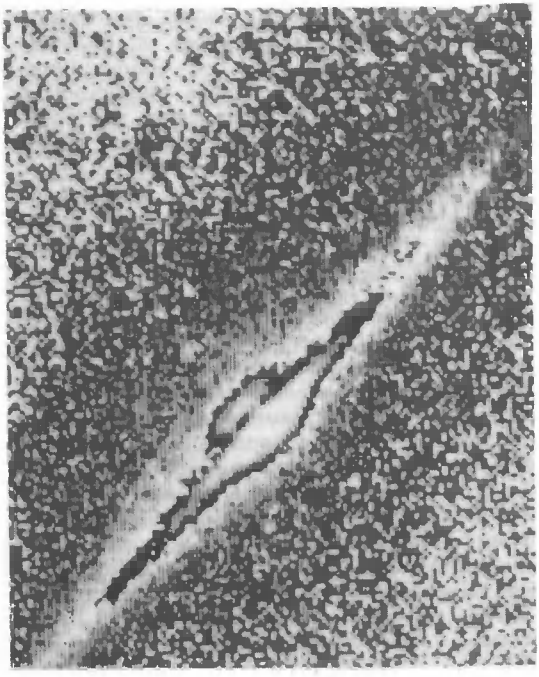
Эти вопросы являются фундаментальными, любая теория образования и эволюции галактик, теория происхождения звезд и химических элементов должна в первую очередь ответить на них, причем ответы должны согласовываться друг с другом.

Коллапс протогалактики. Решение этих вопросов привело к созданию следующей картины. Вначале Галактика представляла собой медленно вращающееся газовое облако, размеры которого в десятки раз превосходили ее современные размеры. Под действием собственной гравитации облако свободно сжималось (или коллапсировало), так как ни центробежная сила, ни газовое давление не могли в тех условиях противостоять собственной силе тяжести. В процессе коллапса рождались первые звезды. Они унаследовали радиальное движение газа к центру си-

стемы, отчего их орбиты оказались сильно вытянутыми, почти радиальными. Таким образом, у этих звезд уже при рождении был велик эксцентриситет орбит.

Для дальнейшей эволюции важным оказалось различие в изменении энергии у звездной и газовой подсистем. Выделяющаяся при коллапсе облака гравитационная энергия переходила в кинетическую энергию движения звезд и газа. В звездной подсистеме рост кинетической энергии довольно быстро остановил ее сжатие. Поэтому подсистема старых звезд, родившихся в начале коллапса протогалактики, в значительной степени сохранила свою первоначальную сфероидальную форму и начальное распределение углового момента, образовав слабовращающуюся сферическую подсистему (гало). Газ же безвозвратно терял приобретаемую кинетическую энергию в столкновениях газовых облаков: энергия превращалась в тепло и уносилась в конце концов в виде излучения (так называемый диссипативный коллапс). Поэтому система газа продолжала свободно сжиматься. Но постепенно в ней нарастали центробежные силы, так как из-за сохранения углового момента при сжатии увеличивалась скорость вращения. Когда размеры системы уменьшились в десятки раз, эти силы уравновесили гравитацию и остановили сжатие поперек оси вращения, в то же время вдоль оси вращения сжатие продолжалось; в итоге сформировался тонкий газовый диск. Родившиеся в нем звезды и образовали быстровращающуюся дисковую подсистему. Вот как получилось, что молодые звезды движутся по круговым орбитам, а старые — по радиальным и что дисковая подсистема быстро вращается сквозь сферическую.

Обогащение тяжелыми элементами. К началу 60-х годов сложилась ясная картина обогащения Галактики тяжелыми элементами. Она покоится на «трех китах» физики звезд: теории ядерного синтеза в массивных звездах, теории звездной эволюции и идее о формировании звезд из межзвездного газа. Вкратце она состоит в следующем. В результате гравитационной конденсации в Галактике происходит непрерывное превращение некоторой доли межзвездного газа в звезды разных масс. Массивные звезды, масса которых превышает солнечную, скажем, на порядок, быстро эволюционируют — за сотни тысяч и миллионы лет, т. е. практически мгновенно по сравнению с характерными временами эволюции Галактики, составляющими сотни миллионов и миллиарды лет. В конце своей жизни эти звезды сбрасывают в окружающее пространство значительную часть своей массы, например взрываясь как сверхновые; в последнем случае возможен разлет даже всей массы звезды. Вместе с этой массой в галактическое пространство выбрасываются тяжелые элементы, синтезированные в процессе эволюции и взрыва звезды. Межзвездная среда обогащается таким образом тяжелыми элементами, и они уже в готовом виде входят в состав вновь рождающихся звезд.



Дисковая галактика NGC 4565, видимая «с ребра». Эта система считается очень похожей на нашу Галактику. Изображение получено с инфракрасной фотографии путем специальной обработки, позволившей обнаружить гигантскую оболочку (гало, или корону) из слабосветящихся красных звезд. На рисунке она видна как темная эллиптическая область вокруг светлой полосы диска. На обычных фотографиях этой галактики виден только диск и характерное шарообразное утолщение в его центре.

Звезды массой порядка солнечной и меньше захватывают эти элементы «навсегда», так как время их жизни сравнимо и даже превышает возраст Галактики. Поэтому их химический состав отражает состав среды в момент рождения этих звезд (напомним, что собственных тяжелых эле-

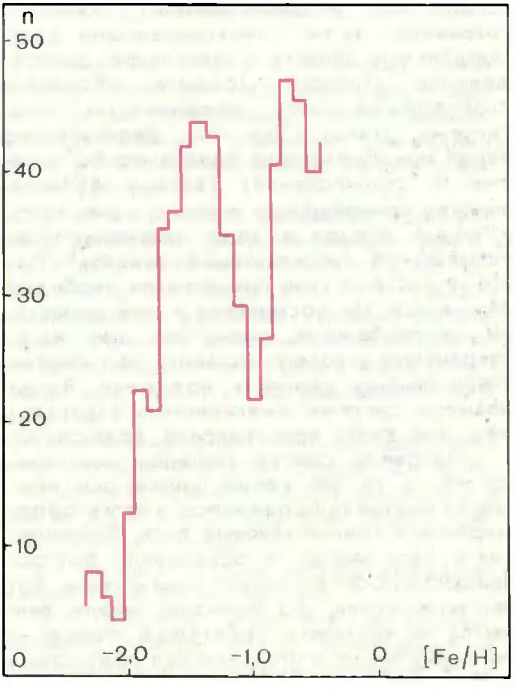
ментов звезды малых масс синтезировать не могут). Звезды же с большими массами опять быстро эволюционируют, выбрасывая в конце эволюции в межзвездную среду захваченные при рождении тяжелые элементы вместе с вновь синтезированными.

В итоге маломассивные долгоживущие звезды (обычно это карлики спектральных классов F, G, K, M) служат своего рода вехами на пути химической эволюции Галактики. Самые старые из них дают нам представление о химическом составе Галактики в начале ее эволюции, а изменение химического состава при переходе к более молодым звездам отражает картину изменения химического состава Галактики со временем, т. е. картину ее химической эволюции. Нетрудно заметить, что из-за обогащения межзвездной среды тяжелыми элементами поздние поколения звезд будут иметь большее содержание металлов, и величина [Fe/H] оказывается, таким образом, связанной с возрастом звезд, являясь его своеобразным индикатором: чем меньше [Fe/H], тем старше звезда.

Химический состав галактик и вопросы эволюции. Рассмотренная картина обогащения позволяет оценить долю долгоживущих звезд в каждом данном интервале значений содержания металлов. Сравнивая такие оценки с наблюдаемым распределением звезд по величине [Fe/H], можно проверить картину обогащения, а тем самым проверить заложенные в ней идеи об эволюции Галактики, происхождении и эволюции звезд, происхождении химических элементов. Отсюда становится ясной огромная роль исследования химического состава звезд и распределения тяжелых элементов среди звездного населения Галактики в решении этих фундаментальных проблем.

Но не только распределение звезд по содержанию металлов (к которому мы еще вернемся) приводит к такому заключению. Вообще, исследование химического состава галактики дает ключ к решению многих космогонических и эволюционных проблем. Один из ярких примеров — обнаружение так называемого радиального градиента содержания металлов: в последние годы было довольно надежно установлено, что содержание тяжелых элементов в среднем растет к центру Галактики; то же самое наблюдается и в других галактиках. Оказывается, такой градиент естественно возникает при диссипативном коллапсе протогалактики, описанном выше. В то же время ничего подобного не должно получаться, если галактика формировалась, как это иногда предполагается, бездиссипативным путем, т. е. из уже готовых звезд. Таким образом, обнаружение радиального градиента подтвердило теорию сжимающейся газовой протогалактики.

Недавно было установлено, что в эллиптической галактике M 87 подсистема шаровых скоплений имеет такой же градиент содержания металлов, что и вся галактика в целом. Отсюда совершенно справедливо было сделано заключение, что



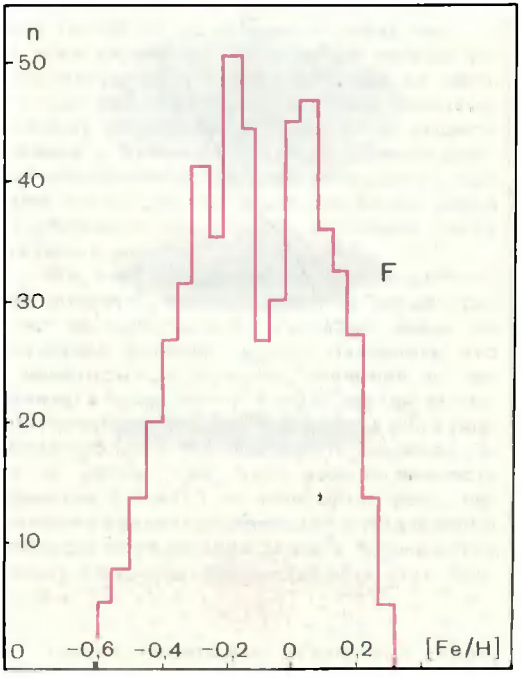
Распределение числа звезд [n] в зависимости от содержания в них тяжелых металлов [[Fe/H]]: слева — распределение объектов гало (субкарлики, шаровые скопления, звезды типа RR Лиры); виден провал в окрестности [Fe/H]=—1,0 и падение распределения в точке [Fe/H]=—0,5; в центре и справа — распределение F- и G-карликов населения диска; эти распределения также обрываются в точке [Fe/H]=—0,5, и она, таким образом, разделяет по «металличности» население гало и диска. Отчетливо выделяется также провал в окрестности [Fe/H]=—0,1, делящий звезды диска на две группы.

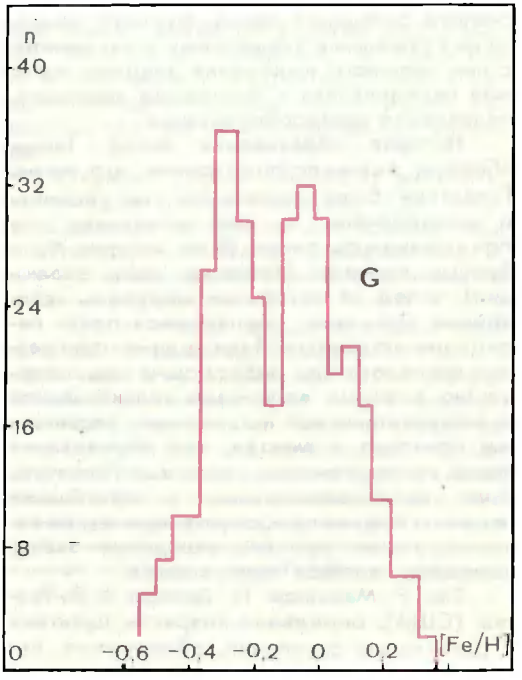
скопления формировались уже в самой галактике, из того же вещества, что и звезды поля, т. е. из вещества, прошедшего химическую переработку в самой галактике[2]. Это очень важный вывод, поскольку до сих пор существует точка зрения, согласно которой шаровые скопления могли рождаться на догалактической стадии эволюции и уже в готовом виде входили затем в состав галактик.

Сравнивая градиенты содержания металлов у эллиптических и дисковых галактик, Сандра Фабер (США) обнаружила, что они одинаковы. Этот факт дал ей возможность определить, когда же в дисковых галактиках происходит образование основной массы тяжелых элементов: хотя на диск приходится бóльшая часть звезд и практически все содержание металлов, тяжелые элементы в дисковых системах были созданы на стадии коллапса, а не синтезированы в самом диске в более поздний период. Это тоже очень важный вывод, поскольку оказывается, что бóльшую часть тяжелых элементов дало поколение звезд, на долю которого приходится относительно небольшая масса.

Много интересного дает анализ распределения звезд и скоплений по величине содержания тяжелых элементов. Оказалось, что эти распределения имеют провалы в окрестности значений [Fe/H]=1,0; —0,5 и —0,10. Звезды и скопления с такими величинами [Fe/H] встречаются очень редко[3]. Эти провалы делят населения Галактики на четыре группы, причем внутри групп различия в содержании тяжелых элементов крайне малы (возможно, они вообще отсутствуют) по сравнению с различием в содержании металлов между самими группами. Таким образом, возникли основания считать, что население Галактики образует четыре отдельных группы, отличающиеся друг от друга по содержанию металлов, т. е. что распределение по содержанию металлов дискретно.

Этот результат сейчас еще нельзя





[2] Harris W., Strom K. M., Strom E. S., Wells D. C.— Publ. Astron. Soc. Pacific, 1978, v. 90, p. 492.

[3] Марсаков В. А., Сучков А. А.— Астрономический журнал, 1977, т. 54, с. 1232; 1980, т. 57, с. 53. У. Харрис и Р. Кантерна вообще не обнаруживают шаровых скоплений в интервале —1,2 <[Fe/H]< —0,9 (Harris W., Canterna R. — Astrophys. J. Lett., 1979, v. 231, p. 19).

назвать общепризнанным, хотя уже несколько групп исследователей независимо натолкнулись на существование пробелов в распределении по «металличности». И поскольку из него следуют важные заключения об истории звездообразования и химической эволюции, затрагивающие ряд устоявшихся представлений, он вызывает много споров.

Один из выводов, к которому приводит описанная выше дискретность функции «металличности», состоит в том, что процессы образования звезд и обогащения тяжелыми элементами в Галактике были циклическими, т. е. были периоды интенсивного рождения звезд, бурного обогащения тяжелыми элементами и связанного с ним мощного выделения энергии, которые чередовались с периодами задержки, подавления звездообразования[4].

История образования звезд. Таким образом, возникло подозрение, что жизнь Галактики была далеко не так спокойна и однообразна, не так монотонна, как представлялось ранее. В ее истории были бурные периоды (активные фазы эволюции), вслед за которыми наступали «спокойные времена», сменявшиеся опять периодами активности. В последние годы разные исследователи, работающие над совершенно разными вопросами галактической и внегалактической астрономии, независимо приходят к выводу, что образование звезд на протяжении эволюции Галактики было не равномерным, а испытывало периоды подъемов и спадов, причем на каких-то этапах процесс рождения звезд, возможно, вообще прекращался.

Так, Р. Макклюр, П. Демарк и Б. Тваров (США), определяя возрасты шаровых и рассеянных скоплений, обнаружили, что самые молодые шаровые скопления старше самых старых рассеянных скоплений на 5—10 млрд лет. Отсюда они заключили, что в Галактике после формирования гало процесс образования звезд остановился и заново начался только по прошествии 5—10 млрд лет. Этот результат обсуждался на проходившем в 1977 г. коллоквиуме Международного астрономического союза «Химическая и динамическая эволюция нашей Галактики», и было высказано довольно единодушное мнение, что в Галактике действительно был длительный период подавления процесса образования звезд после формирования гало.

Такой же результат был получен на основе совершенно других данных для других звездных систем. Например, выяснилось, что некоторые характеристики ряда так называемых голубых галактик свидетельствуют об отсутствии в них звезд с возрастом от 1 до 10 млрд лет, так что звездное население представлено там только очень старыми и очень молодыми объектами.

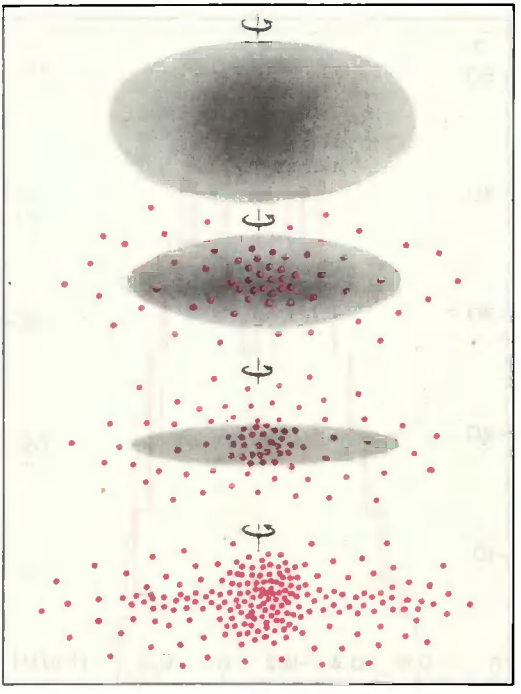


Схема формирования Галактики (сверху вниз): первоначальное протогалактическое газовое облако; сжатие (коллапс) и образование первых звезд — стадия формирования гало; продолжение коллапса и задержка в процессе образования звезд, газ собирается в тонкий диск; новый цикл звездообразования — стадия формирования дисковой подсистемы. Видно, как наложение гало и дисковой подсистемы образуют характерную форму — диск с утолщением в центре.

Вывод о циклическом характере звездообразования уже неоднократно делался в последние годы применительно

[4] Дж. Коэн на основании своих исследований химического состава шаровых скоплений (население гало) и рассеянных скоплений (население диска) пришла к выводу, что не существует перекрытия областей «металличности», занимаемых шаровыми и рассеянными скоплениями, по крайней мере оно чрезвычайно мало. Этот провал в величине содержания металлов хорошо согласуется с провалом в возрастах молодых шаровых и старых рассеянных скоплений (J. Cohen.— Astrophys. J., 1980, v. 241, p. 981).

к Магеллановым Облакам и некоторым другим близким к нам галактикам, в которых достаточно хорошо изучено звездное население.

Неожиданным оказался вклад теории в эту проблему. При расчете процесса формирования звездных систем было обнаружено, что характерная форма дисковых галактик — линза с шарообразным утолщением в центре — получается только в случае, если после образования сферической подсистемы скорость рождения звезд резко падает и остается малой вплоть до момента, когда оставшийся газ сожмется в тонкий диск[5]. Если такого «выключения» процесса образования звезд нет, то во всех вариантах образуются только эллипсоидальные фигуры, далекие от того, что мы наблюдаем у дисковых галактик. Поэтому был сделан вывод, что существование у дисковых галактик сфероидальной компоненты требует замедления или даже остановки процесса рождения звезд на определенной стадии эволюции таких звездных систем.

Мы уже говорили, что характеристикой возраста звезды является эксцентриситет ее орбиты e — у старых звезд он в среднем больше. Так вот, оказалось, что в некоторых интервалах значений e, например в окрестности $e=0{,}5$, звезды встречаются крайне редко. Значение $e=0{,}5$ разделяет области эксцентриситетов звезд гало и диска, так что малочисленность объектов с $e=0{,}5$ — еще один факт, независимо свидетельствующий о подавлении процесса образования звезд в промежутке между стадиями формирования этих подсистем.

Таковы некоторые результаты современных исследований — мозаика, которая на наших глазах постепенно складывается в новую, более глубокую картину эволюции Галактики.

●

Многое остается еще неясным; например, мы не знаем, где находится население первых звезд, которое должно было дать первые тяжелые элементы, наблюдаемые нами сейчас в самых старых звездах. Ведь не известно ни одной звезды, состоящей только из водорода и гелия, т. е. с первичным химическим составом. Американский астроном И. Кинг недавно назвал эту проблему «вопиющим скандалом, о котором мы (т. е. астрономы. — А. С.) редко говорим на людях». У ряда близких галактик обнаружена гигантская слабосветящаяся сфероидальная оболочка, окружающая галактический диск. Она значительно превышает массу видимой галактики; но ее природа в настоящее время совершенно непонятна[6]. Возможно, именно в ней и находится пресловутое поколение первых звезд.

Мы не знаем также, почему более массивные и более плотные галактики имеют больше тяжелых элементов — факт, хорошо установленный в настоящее время. Так, карликовая галактика в созвездии Дракона имеет металлов в сотни раз меньше, чем наша Галактика, а галактика М 31 (туманность Андромеды), масса которой заметно больше массы нашей Галактики, соответственно и более «металлична».

В связи с этим интересно заметить, что в ядре нашей Галактики, где плотность звезд в миллионы раз больше, чем в окрестности Солнца, содержание тяжелых элементов не на много отличается от солнечного.

Список таких вопросов можно продолжить. Но развитие галактической астрономии идет в последнее время столь стремительными темпами, что уже в ближайшие годы, несомненно, многое станет на свои места в картине химической и динамической эволюции нашей и других галактик. Впрочем, столь же несомненно, что возникнут новые вопросы, появятся новые проблемы, и последняя страница увлекательной истории жизни Галактики закроется еще не скоро.

[5] Larson R.— Monthly Notices Roy. Astron. Soc., 1976, v. 176, p. 31.

[6] Sprinrad H., Ostriker J., Stone R., Chin G., Bruzual G.— Astrophys. J., 1978, v. 225, p. 56. Кстати, о существовании массивных внешних оболочек у галактик (иногда их называют коронами) стали догадываться совсем недавно. Не исключено, что основной вклад в массу короны дают не звезды, а нейтрино, если они имеют ненулевую массу покоя.

«Природа» до «Природы»

Н. В. Успенская

Нина Владимировна Успенская, старший научный редактор журнала «Природа». Ведет раздел критики и библиографии. Печаталась в нашем журнале.

В январе будущего года «Природе» исполнится 70 лет. Возраст достаточно солидный, чтобы обратиться к ее истории и предыстории. Но тем не менее эта статья, наверное, не была бы написана, если бы не телефонный звонок в редакцию:

— На обложке вашего журнала значится, что он выходит с 1912 года. А у меня в руках «Природа» за 1876 год. И журнал очень похож на ваш. Что вы на это скажете?

Отвечаю, что это совсем другое, просто одноименное издание, формально с нашей «Природой» не связанное. А поскольку в голосе человека, с которым я говорю, слышится надежда на библиографическое открытие, добавляю, что краткие сведения о «Природе» 70-х годов прошлого века можно найти во многих справочных изданиях.

Откровенно говоря, мой ответ показался мне довольно скудным. И, часто бывая в Библиотеке им. Ленина, я между делом стала просматривать старые русские научно-популярные журналы, с особым пристрастием те, в название которых входило слово «природа». Их оказалось немало. Но ни один из них не имел ничего общего с нашей «Природой». Ни один, кроме того издания, которое держал в руках читатель, звонивший в редакцию и давший повод к написанию этих строк.

«Природа» 1870-х годов действительно поражает сходством с нашей «Природой»: и общей установкой — «наука из первых рук», и спектром представленных дисциплин, и спокойной формой подачи материала, и почитанием одних и тех же научных школ. Журналы словно бы создавались по одним канонам. Кстати, некоторые авторы, прожившие долго, например Д. Н. Анучин, перекочевали из одной «Природы» в другую. Трудно было бы видеть во всем этом случайное совпадение. Да ничего случайного, как оказалось, здесь и нет.

Историки науки С. Р. Микулинский и Б. Е. Райков прямо указывают на связь старой и новой «Природы» (будем различать их таким способом). Микулинский называет старую «Природу» «непосредственным предшественником нашего современного журнала „Природа"»[1]. А покойный Райков, близко знавший одного из создателей новой «Природы» В. А. Вагнера, утверждал, что Вагнер хорошо помнил старую «Природу» и намеренно назвал свой новый журнал ее именем[2].

---

[1] Микулинский С. Р. Карл Францович Рулье. М.: Наука, 1979, с. 303.

[2] Райков Б. Е. Русские биологи-эволюционисты до Дарвина. Т. IV. М.: Наука, 1969, с. 135.

Открывая в 1873 г. журнал «Природа», его издатели говорили, что она будет продолжением «Вестника естественных наук»[3], научно-популярного журнала, издававшегося замечательным русским биологом К. Ф. Рулье. Свою преемственную связь с популяризаторской деятельностью того же самого Рулье декларировали в своем обращении к читателю и создатели новой «Природы». Уже и этого было бы достаточно для установления духовного родства.

Каким он был, наш предшественник?

Старая «Природа» выходила неполных пять лет, с 1873 по 1877 г., в Москве. Называлась она сборником (это никого не должно смущать, потому что, например, «Вестник естественных наук» Рулье носил название газеты — соответствующая терминология тогда еще не установилась). Ежегодно должно было появляться по четыре выпуска, но в первый год успели выйти только два, а в последний — три. Таким образом, было выпущено всего 17 томов. Правда, весьма объемных — каждый около 400 страниц.

Журнал возник на гребне волны необычайного интереса к естествознанию, которая поднялась в России 1860-х годов и шла бок о бок с общественно-демократическим движением. «То было время всеобщего научного возрождения, — вспоминал П. А. Кропоткин. — Непреодолимый поток мчал всех к естественным наукам... Я скоро понял, что основательное знакомство с естественными науками и их методами необходимо для всякого, для какой бы деятельности он ни предназначал себя»[4].

Одним словом, общий подъем естествознания, переживаемый в странах Запада, произвел сильнейшее впечатление на разгоряченные русские умы. И заставил их так остро ощутить необходимость естественнонаучных знаний, что увлекающийся Д. И. Писарев, как известно, советовал даже М. Е. Салтыкову-Щедрину изменить род занятий. «При его уменье владеть русским языком, — убеждал Писарев читателей в 1864 г., — и писать живо и весело он может быть очень хорошим популяризатором. А Глупов давно пора бросить»[5].

Такое заявление, хоть и сгоряча, но не в шутку, могло быть сделано только в 1860-х годах, когда в России стала высоко цениться научно-популярная книга. «Популяризация, — писал об этом отрезке времени К. А. Тимирязев, — в некотором смысле даже опередила у нас эпоху развития самой науки»[6].

Начало расцвета русского естествознания пришлось на 1870-е годы. В течение этого десятилетия на научной арене одновременно действовали Сеченов и Мечников, братья Ковалевские и Менделеев, Северцов и Семенов-Тян-Шанский, Бутлеров и Столетов, Умов и Бредихин, Лодыгин и Яблочков, Миклухо-Маклай и Пржевальский. Какое невиданное доселе созвездие!

В эти годы к сознанию полезности научного знания для общества прибавилось понимание того, что широкий интерес к науке полезен и для самой науки. На конец 1860-х — начало 1870-х годов приходится организация сначала местных, а затем всероссийских съездов естествоиспытателей и врачей, тогда же возникает огромное число научных обществ, проходят всероссийские научные выставки, создаются новые научные музеи.

Именно 1870-е годы формируют характерный тип российского ученого — человека высокой общественной активности и разносторонней культуры. Эти качества нашли свое выражение и в создании научно-популярного журнала, получившего имя «Природа».

Лучшие и наиболее известные из русских журналов неотделимы в нашем представлении от имен их вдохновителей. Мы всегда говорим: «Современник» Пушкина, «Отечественные записки» Некрасова, «Колокол» Герцена, «Новый мир» Твардовского. Рядом с добротными, но рядовыми журналами никаких имен нет. Нечто подобное можно, наверное проследить и в истории научно-популярных журналов, учитывая, конечно, специфику их задач.

Здесь уже неоднократно упоминался «Вестник естественных наук» Рулье. Что же касается старой «Природы», то и в устах ее современников, и в исторической литературе за ней прочно закреплено название «Природы» С. А. Усова и Л. П. Сабанеева. Одухотворенные идеями своего времени, они создали первый полнокровный, про-

[3] «Вестник естественных наук» был органом Московского общества испытателей природы и выходил с 1854 по 1860 г. Последние номера были выданы подписчикам в 1865 г.

[4] Кропоткин П. А. Записки революционера. М.: Мысль, 1966, с. 134.

[5] Писарев Д. И. Соч., т. 2. М.: ГИХЛ, 1955, с. 365.

[6] Тимирязев К. А. Пробуждение естествознания в третьей четверти века. В кн.: История России в XIX веке. Т. 7, вып. 26. М.: Гранат, 1907, с. 24.

ПРИРОДА

ПОПУЛЯРНЫЙ

ВСТЕСТВЕННО-ИСТОРИЧЕСКІЙ

СБОРНИКЪ.

КНИГА I.

МОСКВА.

1873.

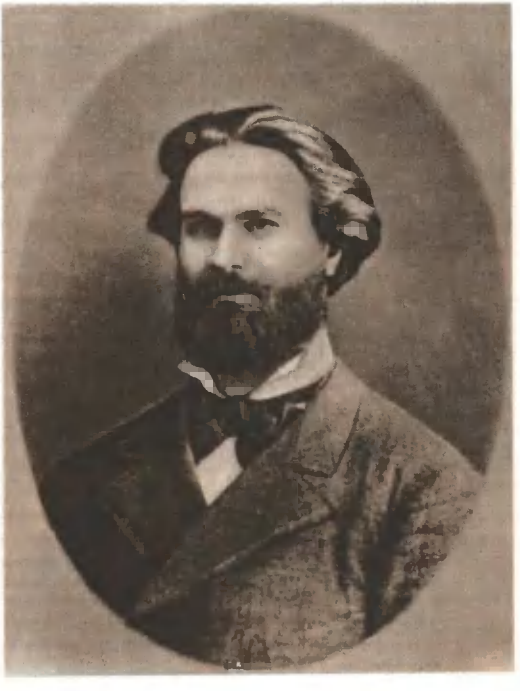
Титульный лист первого выпуска «Природы» С. А. Усова и Л. П. Сабанеева.

Сергей Алексеевич Усов.

фессиональный в нашем нынешнем понимании русский научно-популярный журнал. Можно сказать, что они создали определенный тип журнала, образец, который оправдал себя 70-летним существованием новой «Природы».

Итак, старую «Природу» издавали Сергей Алексеевич Усов (1827—1886) и Леонид Павлович Сабанеев (1844—1898).

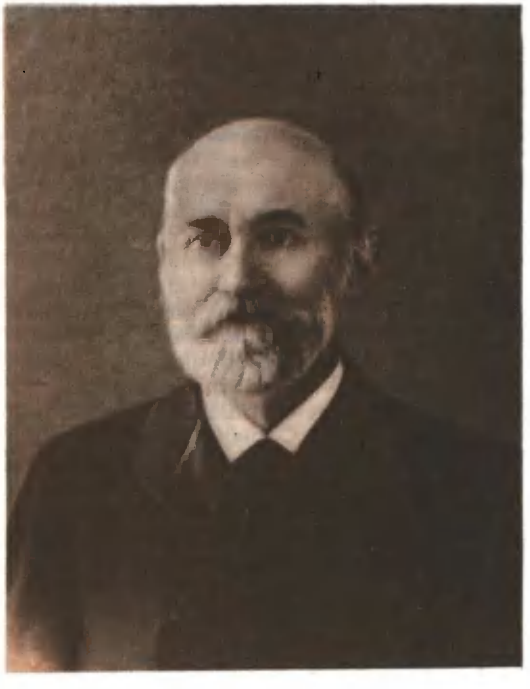
Зоолог, профессор Московского университета, С. А. Усов наряду с Н. А. Северцовым, Я. А. Борзенковым и А. П. Богдановым принадлежал к школе К. Ф. Рулье, которую историки определяют как единственную в мире школу биологов-эволюционистов додарвиновского периода[7]. Усов был, по-видимому, любимым учеником Рулье, во всяком случае он обладал такими природными задатками, которые позволи-



Леонид Павлович Сабанеев.

[7] См.: Райков Б. Е. С. А. Усов.— В кн.: Русские биологи-эволюционисты до Дарвина. Т. IV. М.: Наука, 1969.

Дмитрий Николаевич Анучин.



Алексей Николаевич Петунников.

ли ему унаследовать почти весь набор блестящих качеств своего учителя — ясный теоретический ум, талант лектора и популяризатора, широту души, бескорыстие и энтузиазм.

Усову не посчастливилось сделать выдающихся открытий в науке, но он был серьезным ученым. Большая часть его естественнонаучных работ посвящена зоологии позвоночных и поведению животных, а докторская диссертация «Таксономические единицы и группы» носила сугубо теоретический характер.

Жизнь Усова тесно связана с Московским университетом. Он пользовался большим уважением и как преподаватель, и как горячий защитник устава 1863 г., дававшего университетам самоуправление. Активный участник Комитета по акклиматизации животных, организованного Рулье, Усов был одним из устроителей и первым директором Московского зоологического сада, с успехом и безвозмездно выполняя эту обязанность, связанную с большими организационными и финансовыми трудностями. В последние 15 лет жизни основные интересы Усова сместились в область археологии и истории искусства, где он достиг, как и во всем, чем занимался, высокого профессионализма. Известны его работы о керченских фресках, о миниатюрах к греческому Евангелию VI в., об истории московского Успенского собора и др. Знаменательно, что первый том сочинений Усова, изданных посмертно, вышел под редакцией видного зоолога М. А. Мензбира (М., 1888), а второй — под редакцией знаменитого историка В. О. Ключевского (М., 1892).

При жизни Рулье Усов помогал ему редактировать «Вестник естественных наук», а после смерти своего учителя (в 1858 г.) некоторое время руководил этим изданием. Здесь Усов приобрел популяризаторский опыт, который и реализовал в журнале «Природа». В старой «Природе» им опубликовано несколько статей-очерков: «Сиватерий» (о реставрации черепа древнего млекопитающего; 1873, кн. 1), «Носорог Московского зоологического сада» (1873, кн. 1), «Павианы» (1874, кн. 1), «К рисункам К. Вольфа» (в память о художнике, служившем при Лондонском зоологическом обществе; 1874, кн. 2).

Конечно, эти статьи не исчерпывают всего того, что сделал Усов для своего журнала. Но и не только в редакторском и издательском опыте здесь дело. Основным капиталом, вложенным Усовым в предпринимаемое им издание, был его высокий на-

учный и моральный авторитет, признанное влияние его ума и эрудиции, которые, несомненно, должны были придать его начинанию определенный общественный вес и расположить к сотрудничеству в журнале лучших представителей научного мира.

«Сергей Алексеевич был среди своих товарищей центральной личностью», — пишет об Усове его современник[8]. А вот еще одно мнение: «Мы имели в нем тот драгоценный тип русского человека, который счастливо соединяет в себе силу ума, способность к беспощадному анализу с высоким строем души»[9].

Прекрасные воспоминания об Усове оставили его ученики академики М. А. Мензбир и Д. Н. Анучин, считавшие себя многим обязанными Усову. «Он находил в себе достаточно сил, — писал Мензбир, — чтобы всегда и во всем быть вполне независимым... Надо было говорить с ним о Шекспире и Гете, Микеланджело и Рафаэле, Дарвине и Ламарке, чтобы понять всю глубину его взглядов и глубину понимания сокровенных вопросов поэзии, искусства и науки»[10]. Такие люди, как Усов, писал Анучин, «поддерживают и развивают в обществе уважение к высшим идеалам знания и красоты»[11].

После того, что сказано, не нужно доказывать, что Усов был в старой «Природе» основополагающей творческой единицей. Но, по воспоминаниям Анучина, близкого к журналу, бóльшая часть черновой редакторско-издательской работы ложилась на плечи Леонида Павловича Сабанеева. Во-первых, журнал издавался на его средства, включая те 10 тыс. рублей, которые он получил от своего земляка, ярославского заводчика П.[12] Во-вторых, на долю Сабанеева приходился труд по заказу статей и переговорам с авторами.

Подобно Мензбиру и Анучину, Сабанеев был учеником Усова и после окончания университета по поручению Московского общества испытателей природы отправился на несколько лет на Урал, где много путешествовал. Сабанееву принадлежит ряд трудоемких и скрупулезных работ по фауне Урала и его родной Ярославской губернии.

Профессиональный интерес к животному миру вырос у Сабанеева из страсти к охоте и поддерживался ею в течение всей его жизни. Впрочем, это почти закономерно. Кропоткин, например, передавая свои впечатления от встреч и разговоров с Пржевальским, писал, что «энтузиазм», который он проявил при исследовании Центральной Азии, был почти в такой же мере результатом его страсти к охоте на всевозможную редкую и крупную дичь: гуранов, диких верблюдов и лошадей, как и желания посетить новые, неизвестные еще земли»[13].

Однако эволюция интересов у Сабанеева оказалась иная. В 1877 г. он прекратил издание «Природы» и на протяжении последующих двадцати с лишним лет своей жизни издавал и редактировал журнал «Природа и охота» и «Охотничью газету». В историю он вошел как основоположник русского охотоведения, «первый сознательный русский охотник».

Начальным шагом в этом направлении была попытка произвести «одновременную перепись охоте» на всем пространстве нашей страны, «чтобы охранить наше национальное богатство — фауну России», — пишет соратник Сабанеева по охотоведческим делам Н. В. Туркин[14]. Он же рассказывает, что для этого Сабанеев составил специальную анкету, которая с помощью Императорского общества охоты была разослана губернаторам и в губернские статистические комитеты. В результате были впервые получены данные о состоянии охоты в различных краях. А в дальнейшем некоторые губернии стали систематически собирать и публиковать такие сведения.

По инициативе Сабанеева были организованы первые рыболовные выставки, Общество любителей рыболовства, Общество любителей птицеводства, Русский охотничий клуб. Обширные монографии Сабанеева «Рыбы России» и «Охотничий календарь», чрезвычайно емкие по содержанию и написанные сочным «аксаковским» языком, приобрели значение классических трудов, выдержали большое число изданий

---

[8] Стороженко Н. В память Сергея Алексеевича Усова. М., 1887, с. 3.

[9] Воспоминание о Сергее Алексеевиче Усове Льва Поливанова. М., 1887, с. 14.

[10] Мензбир М. А. С. А. Усов.— В кн.: Соч. С. А. Усова, т. I. М., 1888, с. 6.

[11] Анучин Д. Н. С. А. Усов как член Московского археологического общества и как археолог-натуралист.— В кн.: Анучин Д. Н. О людях русской науки. М.: Географгиз, 1952, с. 213.

[12] См.: Анучин Д. Н. Из воспоминаний.— В сб.: Русские ведомости, 1863—1913, М., 1913, с. 71—89.

[13] Кропоткин П. А. Цит. соч., с. 218.

[14] Туркин Н. В. Биография Сабанеева.— В кн.: Сабанеев Л. П. Рыбы России. М., 1911, с. XI.

(иногда с измененным названием) и переиздаются до сих пор[15].

Принадлежа к разряду так называемых деловых людей, живущих напряженной жизнью, Сабанеев производил на окружающих впечатление уравновешенного и приветливого человека. Он был богатырского сложения и располагал к себе доброй белозубой улыбкой. «Вся жизнь его была простая, ровная и спокойная... И все дела его имеют тот же спокойный, ровный и глубокий характер»[16].

Одновременно с Сабанеевым на научном и деловом поприще успешно выступали его родные и двоюродные братья (особенно это относится к Александру Павловичу, известному химику, профессору Московского университета). Над этим обстоятельством подшучивал А. П. Чехов: «Братья Сабанеевы замечательны тем, что несмотря на свою многочисленность не имеют в своей семье ни одного урода», — писал он в фельетоне «Осколки московской жизни», стилизуя свой отзыв о «семи братьях Сабанеевых» в духе сказки о семи Симеонах — братьях, искусных в разных ремеслах[17].

В «Природе» Сабанеев напечатал научные очерки «Зауральские озера» (1873, кн. 2; 1874, кн. 1), «Соболь и соболиный промысел» (1874, кн. 2), «Косуля и козлиный промысел» (1875, кн. 4), «Стерлядь» (1874, кн. 4), «Глухой тетерев» (1875, кн. 3), «Рябчик» (1876, кн. 4), «Волк» (1877, кн. 2).

Отдав много сил журналу «Природа», Сабанеев постепенно стал охладевать к своему изданию, расходы на которое далеко не окупались подпиской, и вынужден был прекратить его[18].

Третьим по значению лицом в старом журнале «Природа» был уже неоднократно здесь упомянутый Дмитрий Николаевич Анучин (1843—1923). Один из основоположников антропологии в России, географ, этнограф и археолог, он поражает оригинальностью и разнообразием исследований во всех указанных областях. К тому же «Анучин не был скуп на перо, — как писал уже в новой «Природе» его любимый ученик академик Л. С. Берг, — список его трудов объемлет 500 нумеров»[19].

Кроме научных публикаций Анучин, по счастью, оставил большое число замечательных очерков о выдающихся людях своего поколения, которых ему довелось знать лично (а круг его знакомых был очень обширен), публицистические выступления и историко-научные работы. На протяжении многих лет он был редактором «Русских ведомостей» — одной из крупнейших и наиболее серьезных русских газет предыдущего столетия. При всем том удивительно, что писать Анучин начал поздно, в тридцать лет, и примерно лишь в это время стали оформляться его научные интересы. Свою первую статью Анучин напечатал в первом выпуске «Природы».

Вообще старая «Природа» сыграла особую роль в его жизни. Несмотря на свои яркие способности и несмотря на то, что такой влиятельный профессор как Усов выделял его среди своих студентов, Анучин не был оставлен при Московском университете. Не говоря уже о неопределенности дальнейших жизненных планов, Анучин оказался в затруднительном материальном положении. И он с радостью принял приглашение Усова работать в «Природе», тем более, что был однокашником Сабанеева по университету. В очерке, посвященном Сабанееву, Анучин пишет о своем участии в «Природе»: «В деле редакции принимал посильное участие и я, помещая как более крупные статьи, так и разные мелкие, делая, исправляя переводы иностранных статеек и т. д. Такое близкое мое участие продолжалось с 1872 по 1875 год и имело для меня немаловажное значение, оно дало мне возможность испробовать впервые свои силы в деле писательства, а с другой стороны, и кой-что заработать»[20].

Статьи за подписью Анучина мы находим почти в каждой книге старой «Природы». Среди них «Очерки африканской фауны» (1873, кн. 1 и 2), «Антропоморфные обезьяны и низшие типы человечества» (1874, кн. 1, 3, 4), «Сайга» (1875, кн. 3), «Как люди себя украшают и уродуют» (этнографический очерк; 1876, кн. 3 и 4), «Очерки полярной фауны» (1876, кн. 3 и 4), «Этнографический очерк Балканского полуострова» (1877, кн. 1).

Наконец, нужно сказать еще об одном человеке, определявшем политику

---

[15] См., например: Сабанеев Л. П. Календарь природы. М.: Наука, 1964; Сабанеев Л. П. Жизнь и ловля пресноводных рыб. Ярославль, 1978.

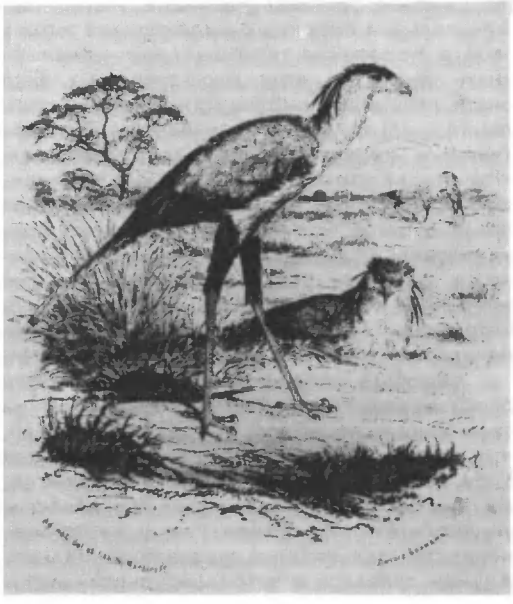
[16] Туркин Н. В. Леонид Павлович Сабанеев.— Природа и охота, 1898, № 4, с. X.

[17] Чехов А. П. Соч., т. 16. М.: Наука, 1979, с. 101.

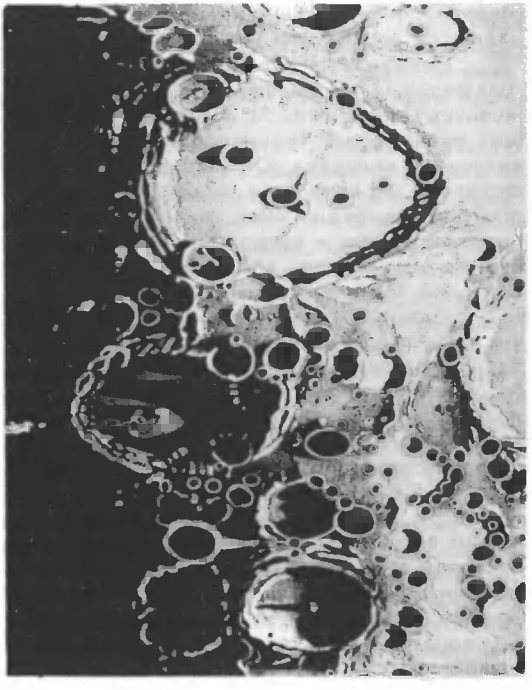
[18] Анучин Д. Н. Из воспоминаний, с. 72.

[19] Берг Л. С. Д. Н. Анучин как географ.— Природа, 1924, № 1—6, с. 3.

[20] Анучин Д. Н. Из воспоминаний, с. 72.



Секретарь (Gypogeranus Serpentarius). **Рисунок с натуры и литография (в оригинале — цветная) Н. А. Мартынова к статье Д. Н. Анучина «Очерки африканской фауны» (Природа, 1873, кн. 1).**



Вид лунных гор при заходящем Солнце. Литография к «Публичным лекциям астрономии» Ф. А. Бредихина (Природа, 1873, кн. 1).

старой «Природы». Это Алексей Николаевич Петунников (1842—1918).

Петунников был учеником Н. Н. Кауфмана, блестящего знатока московской флоры, первого профессора созданной в 1863 г. в Московском университете кафедры физиологии и анатомии растений. (Кстати, он хоть и был ботаником, но также причислял себя к школе Рулье.) Научная карьера Петунникова у такого учителя начиналась неплохо. В 1867 г. Петунников защитил магистерскую диссертацию «Метаморфоз клеточной стенки» (основанную на микроскопических исследованиях), в которой полемизировал со многими биологами, доказывая невозможность свести биологические явления к физико-химическим процессам. В связи ли с последним обстоятельством или независимо от него, но Петунников не получил места в университете. Долгое время он работал в Московской городской управе и сделал там много полезных дел для благоустройства города: с большой энергией руководил городскими насаждениями, работами по замощению улиц, водоснабжению и канализации.

Вместе с тем Петунников не порывал связей с университетом и наукой. Он известен как один из руководителей знаменитой московской группы любителей-флористов, внесших ценный вклад в изучение растительности Средней России и Московской губернии.

Надо отметить, что московские ботаники издавна проявляли больше интереса к своей местной растительности, чем, например, петербургские. И хотя изучение растительности Петербургской губернии началось еще с «Флоры Ингерманландии» С. П. Крашенинникова, тем не менее к началу нашего века Московская губерния была описана гораздо обстоятельнее. Яркое представление об изученности московской растительности дает составленный Петунниковым подробный «Критический обзор московской флоры» (1896).

Корзина «Зенита» в высших областях атмосферы. Гравюра к статье Г. Тиссандье «Путешествие на большую высоту воздушного шара "Зенит"». Автор статьи — один из трех участников этого трагического эксперимента. 15 апреля 1875 г. аэростат «Зенит» поднялся на рекордную высоту 8600 м, но при этом аэронавты Г. Т. Сивель (изображен слева, отрезает бечевки от мешков с балластом) и Ж. Э. Кроче-Спинелли (справа, вдыхает кислород) погибли. (Природа, 1875, кн. 3).

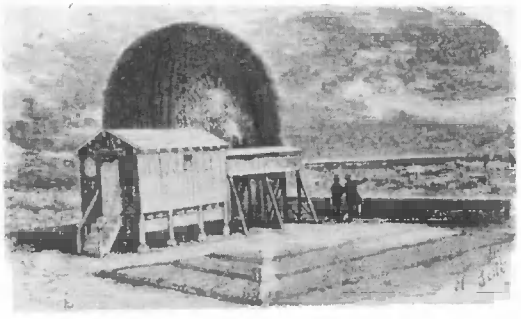
Токующий глухарь.
Литография к статье Л. П. Сабанеева «Глухой тетерев» (Природа, 1875, кн. 3).

Среди работ Петунникова нужно еще отметить важный для систематиков «Свод ботанических терминов, встречающихся в русской литературе» (1898). В процессе подготовки этого свода Петунников увлекся библиографией и стал одним из учредителей Русского библиографического общества.

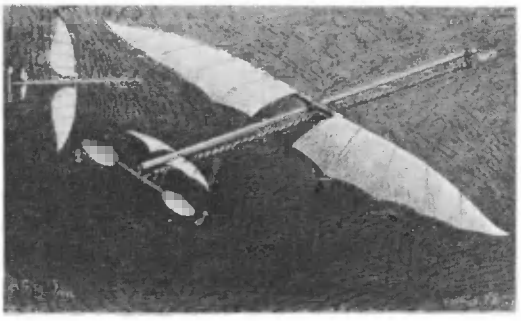
Петунников выступал как популяризатор и публицист в целом ряде изданий. В «Природе» он так же, как и Анучин, был ближайшим помощником Сабанеева и Усова по самым разным редакционным делам. Кроме того, им опубликованы в «Природе» статьи «Прорастание» (1873, кн. 1), «Тина» (1873, кн. 1), «Морская трава» (1873, кн. 2), «Пестролистные растения» (1874, кн. 3), «Движение света в растениях» (1875, кн. 4), «Асфальт» (1876, кн. 2).

После предпринятых нами экскурсов в биографии Усова, Сабанеева, Анучина и Петунникова читателю этих строк уже легко представить себе принципы издаваемого журнала. Естественно, что журнал делался во всех отношениях профессионально — в характере его издателей не было дилетантизма. Так же естественно, что в журнал были привлечены крупнейшие научные силы. Наконец, вполне логично, что в старой «Природе» преобладала биолого-географическая тематика, а внутри этой тематики господствовал дарвинизм.

Усов, исповедовавший эволюционизм и до Дарвина, с восторгом принял теорию естественного отбора и горячо ее пропагандировал в своих лекциях и статьях. Его близкий и давний товарищ, выдающийся зоолог и путешественник Н. А. Северцов выступил в первой же книге «Природы» со статьей «Аркары», содержание которой он определил как «соображения о применении теории Дарвина к частному вопросу об образовании видов диких баранов и их отношении к домашним» (1873, кн. 1, с. 245). Дарвиновскими идеями проникнуты и блестящие зоогеографические работы Север-



Барак, выстроенный на платформе обсерватории с целью точного определения скорости света. Гравюра к сообщению «Новые опыты над скоростью света», посвященному работам А. Корню (Природа, 1875, кн. 4).



Аэрофан Пено. Гравюра к статье А. Пено «Снаряды механического воздухоплавания» (Природа, 1875, кн. 4).

цова «Природа и животные Тянь-Шаня» (1874, кн. 1) и «О зоологических (преимущественно орнитологических) областях внетропических частей нашего материка» (1877, кн. 3).

Один из крупнейших русских ботаников, петербургский профессор А. Н. Бекетов, разрабатывавший вопросы «архитектуры» растений и ботанической географии и бывший в числе первых и наиболее талантливых единомышленников Дарвина, прислал в «Природу» статью «Можно ли признавать дисгармонию в природе», которая была опубликована в 1-й книге за 1876 г. Другой известный петербургский профессор, зоолог и писатель Н. П. Вагнер выступил в «Природе» с очерком «Прямой путь», в котором была представлена схема развития царства животных — от амебы до человека.

В журнале сотрудничал и И. И. Мечников, в то время молодой профессор Новороссийского университета, но уже завоевавший имя работами в области сравнительной эмбриологии. Во 2-й книге за 1874 г. был напечатан его «Общий очерк паразитической жизни», а в 3-й — «Общий естественноисторический очерк Мадейры».

Старая «Природа» в прекрасной популярной форме демонстрировала читателям выдающиеся достижения русских биологов 1870-х годов, рассматривавших свои работы как подтверждение и дальнейшее развитие дарвиновской теории эволюции. Наряду с этим редакторы старой «Природы» допускали возможность публикаций иного толка. В 1-й книге журнала за 1874 г. появилась статья известного критика, публициста и притом магистра зоологии Н. Н. Страхова «О развитии организмов», открыто направленная против идей Дарвина. Писалась она с одобрения Сабанеева. «Я написал ему (Сабанееву. — Н. У.),— сообщает Страхов Л. Н. Толстому,— примет ли он статью, в которой отвергается Дарвин; он отвечал, что очень охотно, и я принялся усердно писать»[21]. Можно предположить, что никаких конфликтов у Страхова по этому поводу не было и с Усовым. Иначе Страхов не откликнулся бы в 1886 г. на смерть Усова такими словами: «Какая жалость — так и не удалось познакомиться»[22].

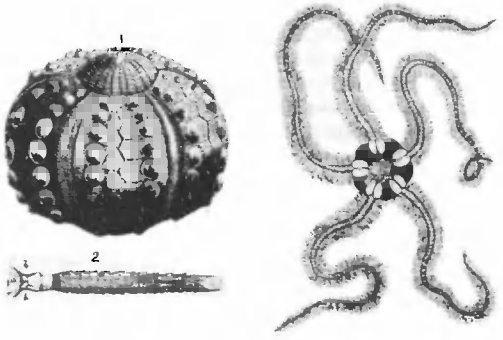
Этот эпизод можно расценивать как стремление редакторов «Природы» осуществлять провозглашенный ими принцип «свободы от всякой тенденциозности». Нельзя также исключать возможного пиетета по отношению к личности самого Страхова, чей сильный критический ум привлекал к себе думающих людей. Не случайно ведь мнением Страхова так дорожили и Достоевский, и Фет, и Лев Толстой. «У меня было два (кроме С. А. Толстой — это третье) лица, к которым я много написал писем и, сколько я вспоминаю, интересных для тех, кому может быть интересна моя личность,— отмечал Толстой,— это Страхов и князь Сергей Семенович Урусов»[23].

---

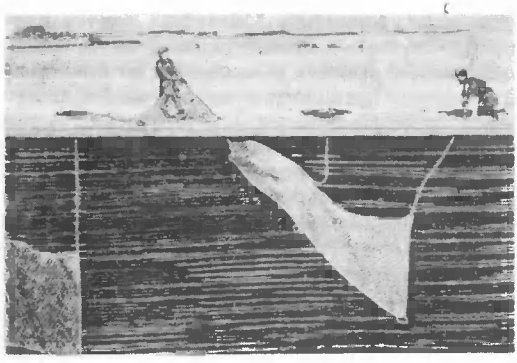
[21] Переписка Л. Н. Толстого с Н. Н. Страховым 1870—1894.— В кн.: Толстовский музей. Т. II, СПб, 1914, с. 29.

[22] Там же, с. 339.

[23] Цит. по предисл. Модзалевского Б. Л. Там же, с. 4.



Морской еж и морская звезда.
К статье Т. Гексли «Кусок мела» (Природа, 1873, кн. 2).



Аван (под льдом).
Гравюра к статье В. Е. Яковлева «Тюлений промысел на Каспийском море» (Природа, 1875, кн. 2).

После публикации в журнале антидарвиновской статьи Страхова открытой полемики не последовало. Эту задачу в 80-х годах взял на себя К. А. Тимирязев[24].

Наконец, чтобы завершить характеристику биологического раздела в старой «Природе», надо отметить, что она печатала много переводных материалов. Среди неоднократно публиковавшихся зарубежных авторов назовем alter ego Дарвина — Томаса Гексли (в частности, во 2-й книге за 1873 г. была напечатана его знаменитая публичная лекция «Кусок мела»), соавтора теории Дарвина А. Уоллеса, наиболее видного немецкого последователя Дарвина Э. Геккеля.

Кстати, по милости Геккеля в журнале произошла такая накладка. В 3-й книге за 1874 г. напечатан принадлежащий его перу развернутый некролог Томаса Генри Гексли, который редакция едва успела сопроводить примечанием: «Когда биография Гексли была уже напечатана, во французских и английских газетах появилось опровержение смерти знаменитого ученого». И русская примета на такой случай — «долго жить будет» — оправдалась: Т. Гексли (1825—1895) прожил после этого еще 21 год.

«Природа» держала своего читателя в курсе крупнейших экспедиций и путешествий, в частности публиковала отчеты о вызывавших немало волнений странствиях Н. Н. Миклухи-Маклая (1874, кн. 2; 1875, кн. 2).

Анучин вспоминает, как случайно познакомился с еще никому не известным Миклухой-Маклаем: «Помню, это было на дворе старого здания университета, когда он подошел ко мне, рекомендовался и спросил, не знаю ли я адреса зоолога Ошанина. В дальнейшем разговоре он сообщил мне о своих научных стремлениях и о своем намерении поехать на военном судне на острова Тихого океана, в частности в Новую Гвинею. Много лет после того я не встречался с путешественником, но, когда в 1870-х годах в Москве появился (должно быть, присланный в одно из Обществ естествоиспытателей) оттиск его статьи «Антропологические заметки о папуасах Берега Маклая» (из батавского естественноисторического журнала), я перевел (с некоторыми сокращениями) эту статью и поместил ее в издававшемся тогда в Москве под редакцией С. А. Усова и Л. П. Сабанеева сборнике «Природа»[25].

Нетрудно предположить, что стараниями того же Анучина в «Природе» появились и статьи Н. М. Пржевальского, к которому Анучин относился почти восторженно и с необычайным профессио-

[24] Статья К. А. Тимирязева «Опровергнут ли дарвинизм» (Соч., т. VII. М., 1939) содержала ответ Н. Н. Страхову на его статью «Полное опровержение дарвинизма». Другая статья К. А. Тимирязева — «Бессильная злоба антидарвиниста» (см. там же) была написана по поводу статьи Н. Н. Страхова «Всегдашняя ошибка дарвинистов».

[25] Анучин Д. Н. Н. Н. Миклухо-Маклай. Его жизнь, путешествия и судьба его трудов.— В кн.: Анучин Д. Н. О людях русской науки и культуры. М.: Географгиз, 1952, с. 21—22.

нальным уважением. «Он был «истым»,— писал Анучин,— можно сказать — прирожденным, и притом в высшей степени продуктивным путешественником, какие выдаются сравнительно редко»[26]. Статьи Пржевальского, опубликованные в «Природе» в 1874 (кн. 1), 1875 (кн. 1, 2, 3) и 1877 (кн. 3) годах, были посвящены результатам двух его первых знаменитых экспедиций в Центральную Азию.

С геологическими статьями в старой «Природе» чаще других выступал профессор Петровской академии Г. А. Траутшольд. Он писал о вулканах Италии, нефтяных месторождениях Баку, о значении геологии для земледелия. В 1-й книге журнала за 1876 г. была опубликована интересная статья профессора Оксфордского университета И. Престича «Прошедшее и будущее геологии».

Из представителей точных разделов естествознания к «Природе» ближе других стоял Ф. А. Бредихин. Его «Публичными лекциями [по] астрономии» издатели «Природы» решили открыть свой журнал. Это был, так сказать, беспроигрышный номер, поскольку лекции Бредихина, только что читанные им в недавно основанном Политехническом музее, имели огромный успех.

Академик Бредихин прожил весьма плодотворную жизнь. Его считают родоначальником русской астрономической школы и первым русским астрофизиком. Ученики Бредихина — академик А. А. Белопольский, члены-корреспонденты Академии наук С. К. Костинский и В. К. Цераский, профессора П. К. Штернберг и К. Д. Покровский (кстати сказать, активный сотрудник новой «Природы» в первые годы ее существования) — отмечают какую-то особую притягательность его характера, связанную с его живейшим интересом к самым различным сторонам духовной жизни (например, из поездки в Италию он привез не только увлечение спектральным анализом, заимствованное от А. Секки, но и любовь к итальянской трагедии: в 1871 г. в «Вестнике Европы» был опубликован его перевод «Виргинии» Альфлера).

«Он прямо очаровывал своих учеников своею личностью, своим остроумием, веселой и живой беседой, тонкой наблюдательностью, простотою обращения... Федор Александрович заражал своей научной деятельностью, своим примером, и это была истинная школа»,— вспоминал А. А. Белопольский[27].

«Он отстаивал,— писал С. К. Костинский,— необходимость специально русской астрономической школы, считая вполне справедливо, что если наука — международна, то философское отношение к ней, направление в ней и способы разработки научных дисциплин могут иметь вполне национальный характер»[28].

Как видно из этих почти наугад взятых отрывков, ученикам Бредихина было что сказать о своем учителе. И действительно, они сказали многое и по-разному. Но при этом ни один из них не забыл упомянуть о знаменитых публичных лекциях 1871 и 1872 гг. «Лекции эти,— отмечает Штернберг,— были напечатаны в журнале «Природа». По искусству и изяществу изложения эти лекции могут быть поставлены в ряду с наилучшими произведениями европейских литератур, богатых популярными сочинениями, принадлежащими перу знаменитых ученых. По благородству тона и по высоте научного содержания они далеко выдвигаются из ряда популярных статей, которых так много появилось в наше время... На его лекции съезжалась вся интеллигентная Москва того времени»[29].

Относительно последнего Штернберг мог судить только понаслышке, так как в 1871 г. ему было всего шесть лет. А вот свидетельство очевидца: «Я так ясно вижу переполненную публикой обширную аудиторию Политехнического музея. Публика разношерстная. Целое волнующееся море голов, преимущественно учащейся молодежи, среди которой попадаются и почтенные старцы, и солидные дамы, и даже блестящие военные... И вдруг аудитория заволновалась... Это приветствуют Федора Александровича...»[30]. Замечательным уточнением к этим красочным описаниям служат слова Костинского: «Из рассказов московских старожилов и старожилок можно вывести, что одно время считалось даже модой ездить на лекции Бредихина»[31].

[26] Анучин Д. Н. Н. М. Пржевальский. Там же, с. 86.

[27] Цит. по предисл. Покровского К. Д. к кн.: Бредихин Ф. А. О хвостах комет. М. — Л.: ГТТИ, 1934, с. 13—14.

[28] Костинский С. Ф. А. Бредихин. Очерк его жизни и деятельности. Николаев, 1905, с. 18.

[29] Штернберг П. К. Памяти Ф. А. Бредихина. М., 1904, с. 8.

[30] Цит. по предисл. Покровского К. Д. к кн.: Бредихин Ф. А. О хвостах комет, с. 14.

[31] Костинский С. Цит. соч., с. 3.

Публичные выступления Бредихина — короткий отрезок в его биографии; очень скоро он охладел к ним и, поглощенный научной работой, стал тяготиться даже своими лекторскими обязанностями в университете. Неизвестно, запомнились бы эти устные лекции, вовсе не простые по содержанию, если бы благодаря старой «Природе» не существовало их печатного образца.

В дальнейшем старая «Природа» постоянно обращалась к проблемам астрономии, метеоритики и даже «космогении». Но это были в основном публикации другого жанра — переводы, обзоры научных работ, рефераты и т. п. Наиболее значительны в этом ряду переводы четырех статей знаменитого Камиля Фламмариона.

Во 2-й книге «Природы» за 1873 г. была напечатана статья А. Н. Столетова, посвященная Г. Р. Кирхгофу — истокам и значению его творчества. Журнал «Дело», в общем-то не очень жаловавший «Природу», тут вынужден был признать: «Биография Кирхгофа, составленная г. Столетовым отчасти по личным воспоминаниям, может служить образцом такого рода статей»[32].

В оглавлении журнала часто встречалось имя видного английского физика и публициста Дж. Тиндаля, друга Дарвина и Гексли.

«Природа» довольно живо реагировала на запросы самой широкой читательской публики. Выступала против спиритизма, обсуждала возможность связи с инопланетянами, публиковала всегда и всех интересующие материалы по психологии (особенно любопытна статья известного в то время психиатра В. Х. Кандинского о «душевных эпидемиях»). Можно найти в «Природе» и отголоски споров по вопросам рационального питания. Так, в одной из статей приводятся активные возражения сторонникам умеренной диеты. «Подобным питанием,— пишет автор,— достигается лишь жалкое, вечно голодное состояние, которое не может надолго удовлетворить потребностям нормальной жизни. Сильному, здоровому организму необходимо известное довольство, даже излишек» (1874, кн. 1, с. 111—112).

Многие из только что перечисленных материалов печатались в разделе «Смесь». Здесь можно было найти сообщения самого разного рода: о том, что Америку открыли викинги, о миражах и погребальных обрядах, об успехах хирургии, летательных снарядах, влиянии войн на распространение растений и т. п. Наряду с обстоятельными, как тогда говорили, монографиями животных, которые помещались среди больших статей, под рубрикой «Смесь» часто печатались аналогичные короткие заметки.

«Роскошный», «великолепный» — так отзывались современники о внешнем виде журнала. Действительно, старая «Природа» и в этом отношении делалась с размахом — прекрасная печать на веленевой бумаге, обилие черно-белых рисунков и чудесные цветные литографии, часто изготовлявшиеся по специальному заказу литографическим заведением Н. Г. Баха в Лейпциге. Несомненно, это инициатива Усова. Он коллекционировал гравюры, использовал их в своих лекциях и по зоологии, и по искусству и, конечно же, знал в них толк. «Мы обратили особое внимание на рисунки, — говорилось в программе журнала,— и впервые употребили олеографию для изображения животных. Большая часть рисунков сделана с натуры (молодым художником Николаем Авенировичем Мартыновым)».

Поистине в старой «Природе» не встречается случайных имен! Николай Авенирович Мартынов стал признанным мастером своего дела и основал школу, которую прошел известный советский художник-анималист В. А. Ватагин.

Старая «Природа» выходила всего пять лет, но жила дольше. Она не была журналом-однодневкой, ее читали и многие годы спустя, а в биографиях людей, причастных к ее изданию, она оставила зарубки, хорошо различимые и в наше время.

Черты «Природы» 1870-х годов отчетливо видны и в новом одноименном журнале, возникшем в 1912 г. — его создатели стремились к такой преемственности. Этого не стоит забывать. Ведь история любого общественного явления, в том числе, наверное, и журнала, отсчитывается, как и история целого народа, с того момента, который как начальный сохранился в памяти.

Не стоит забывать, что современная «Природа» — журнал с глубокими и легко прослеживаемыми историческими корнями. Это создает ощущение ясности ее назначения. И когда порой приходится слышать пожелания, чтобы «Природа» во всем соответствовала уровню так называемых современных международных стандартов, хочется напомнить, что каждый журнал с продолжительной историей — прежде всего национальное явление.

[32] Дело, 1873, № 11, с. 33.

Облепиха в Бурятии

Р. М. Амшеев

Бурятский филиал СО АН СССР
Улан-Удэ

Среди полезных дикорастущих растений Бурятии особый интерес представляет облепиха Hippbae rhamnoides. Ее заросли раскинулись по берегам и поймам горных рек Темник, Джида, Иркут, Китой, Чикой и Селенга и в настоящее время занимают площадь около 1 тыс. га.

Облепиха, как светолюбивое растение, приурочена к открытым участкам рельефа. Она избегает близкого соседства с другими породами деревьев и кустарников, а также тяжелых глинистых и суглинистых почв, предпочитая нейтральные почвы с хорошим воздушным и водным режимами.

По сообщениям Э. Г. Сократовой и В. В. Фаустова, в долинах рек, где ныне распространена дикая облепиха, до 1910—1920 гг. ее заросли занимали около 5 тыс. га, а сейчас площадь облепишников уменьшилась почти в пять раз и продолжает сокращаться. Такое неблагополучное состояние вынуждает принимать срочные меры для сохранения облепихи в этом районе.

В последние годы в результате интенсивного наступления человека на исторически сложившиеся биоценозы облепишников (выпас скота, распашка земель и т. д.) происходят глубочайшие изменения в сообществе живых организмов. Непродуманная обработка зарослей облепихи ядохимикатами приводит к уничтожению не только вредных (облепиховая моль, облепиховая муха, облепиховая медяница и др.), но и полезных насекомых и сопровождается иногда непредвиденными последствиями. Обидно, если подобные просчеты допускают организации, специально занимающиеся охраной и разведением облепихи. Вот один из таких примеров.

Специализированный совхоз «Облепиховый» в июне 1963 г. обрабатывал дикие заросли облепихи, пораженные облепиховой молью, дустом гексахлорана. В это время в Забайкалье происходит массовый лет всех насекомых, и в том числе паразитов облепиховой моли. Сами же вредители (в данном случае — гусеницы облепиховой моли) находятся в надежном, неуязвимом укрытии из листьев облепихи. В результате такой непродуманной обработки гусеницы моли остались невредимыми, а погибли полезные и нейтральные виды насекомых, что резко увеличило плотность популяции облепиховой моли. С этого времени облепиховая моль стала одним из самых массовых и опасных вредителей облепихи в Бурятии. Теперь для сохранения урожая облепихи хозяйства вынуждены ежегодно обрабатывать ее заросли хлорофосом. Несмотря на это, численность облепиховой моли остается высокой, чему способствуют засухи последних лет и наличие неограниченных кормовых ресурсов, поскольку площади под культурными плантациями облепихи увеличиваются. Не вмешайся совхоз «Облепиховый» со столь несвоевременной обработкой диких зарослей, возможно, начавшийся в результате засухи подъем численности облепиховой моли мог бы перейти лишь во вспышку массового размножения. Благодаря действию естественных механизмов саморегуляции экосистемы облепишников и неблагоприятному для развития моли 1964 году степень зараженности облепихи могла бы возвратиться к своему обычному уровню.

Очевидно, проблему защиты облепихи необходимо решать в экологическом и биоценотическом аспектах: улучшать условия роста и развития облепихи, создавать неблагоприятные для существования моли условия и максимально использовать биотические факторы регуляции ее численности.

Использование природных врагов облепиховой моли (энтомофагов — паразитов и хищников) — естественный способ защиты облепихи от повреждений. Энтомофаги, прочно поселившиеся в облепишниках, уничтожают моль из поколения в поколение и поддерживают ее численность ниже порога экономической вредности.

Известно, что кормовую базу энтомофагов составляют многие растения. Распашка земель и выпас скота в зарослях облепихи уменьшают численность растений и снижают структурное разнообразие фитоценоза. Многие виды растений, в особенности травянистые, под действием антропогенных факторов не развивают цветочных побегов, в результате чего энтомофаги лишаются источников питания и, естественно, численность их и продолжительность жизни снижаются.

Для создания благоприятных условий существования и размножения энтомофагов сотрудники лаборатории лесной экологии Института биологии Бурятского филиала СО АН СССР рекомендуют насыщать заросли облепихи нектароносами, подсевая их в междурядья насаждений или между куртинами в диких зарослях. Для конвейера (растянутого во времени цветения) нектароносов можно использовать фацелию, гречиху и донник. Лучше всего их высевать в 2—3 срока с интервалом в 15—20 дней. Такой конвейер обеспечивает цветение нектароносов с июня до поздней осени. Энтомофаги прекрасно развиваются при

обильном питательном корме, и зараженность гусениц и куколок моли увеличивается с 10—12% (без нектароносов) до 32—38%. Нектароносы в облепишниках увеличивают не только количество паразитических и хищных для моли насекомых, но и число их видов. В естественных зарослях — с более богатым фитоценозом — зараженность гусениц достигает 47%, т. е. налицо определенная зависимость: чем больше видов растений, тем многообразнее мир живущих на них насекомых. А это, в свою очередь, поддерживает большое число видов насекомых-энтомофагов.

Следует отметить, что подсев нектароносов помимо своего прямого назначения — жизнеобеспечения энтомофагов — приносит немалую пользу пчеловодству, так как богатые нектаром растения служат для пчел дополнительным источником медосбора.

Естественные враги облепиховой моли — не единственное средство защиты облепихи. В борьбе против гусениц младших возрастов эффективен промышленный биологический препарат — дендробациллин. После обработки кустов облепихи 0,5-процентной суспензией этого препарата погибает 64—70% гусениц моли. Несмотря на печальные последствия, к которым приводит непродуманная обработка облепихи ядохимикатами, химический способ борьбы с молью все же играет немаловажную роль.

Еще один способ борьбы с облепиховой молью — так называемое затопление: обильное искусственное орошение, имитирующее затопление прибрежных зарослей в половодье. Возникающая при затоплении сильная увлажненность почвы и воздуха пагубно действует на выживаемость яиц и гусениц.

В условиях Бурятии недостаток влаги с апреля по июль, когда выпадает лишь 10% годовой нормы осадков (это период от вегетации до начала формирования плодов облепихи),— один из лимитирующих факторов развития этого растения. Для обеспечения оптимального режима влажности почвы и растений и борьбы с облепиховой молью рекомендуется проводить затопление не менее двух раз за весну: первое — в конце апреля и второе — через 10 дней после первого, с экспозицией от 3 до 5 суток. При таком режиме затопления почки облепихи раскрываются на 7—8 дней раньше обычного срока, а урожай повышается в 4 раза.

Стимулирующее действие на облепиху (помимо защиты ее от моли) оказывает гранулированный хлорофос. Он ускоряет набухание цветочных почек и тем самым способствует сдвигу эволюционно сложившейся фенологии развития облепихи и моли. Гусеницы, поднявшись на куст после раскрытия почек, уже не так опасны для формирующихся плодов. Естественно, что продуктивность облепихи увеличивается: вместо 0,77 кг ягод с куста на контрольном участке удается собрать 4,2 кг с куста на почве, обработанной хлорофосом, т. е. урожай повышается более чем в 5 раз.

Таким образом, залогом высокой продуктивности облепихи служит создание наиболее благоприятных условий ее роста и развития в комплексе с рациональными методами борьбы с ее вредителями.

Несмотря на заботу об охране дикорастущей облепихи, ее ареал, как уже было отмечено, продолжает сокращаться. Если не принять действенных мер, то пока еще существующие заросли могут быть сведены на нет. В наиболее плачевном состоянии находятся те участки, которые не закреплены ведомственно и не охраняются, где из-за плохого санитарного состояния зарослей, отсутствия ухода и губительного действия насекомых-вредителей снижается продуктивность облепихи и сокращается площадь дикорастущих облепишников.

Их сокращению и даже уничтожению способствует хозяйственная деятельность человека: освоение новых земель в долинах рек, интенсивный выпас скота, сенокошение. Массовые механические повреждения кустов при сборе ягод (обычно кустарник обколачивают палками или срезают ветки с плодами!) ведут к преждевременному усыханию и гибели кустарника. Значительный ущерб наносят также пожары, которые губят облепиху на больших площадях.

Сохранить уникальные комплексы облепихи и приостановить сокращение ее ареалов можно только при организации заказников, подобных тому что создан в 1970 г. в бассейне р. Темник. Территория этого заказника составляет 5356 га и включает облепиховые заросли соседних хозяйств.

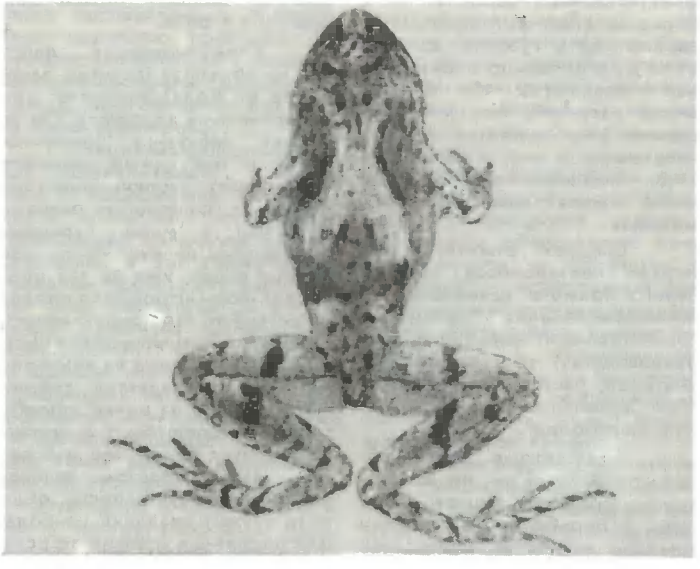
Цель охранных мероприятий — не только сберечь ныне существующие площади дикой облепихи, но и создать новые культурные массивы. Умелый подход к культивированию с использованием достижений современной науки позволит создать целые биологические экосистемы. Посадка лесополос из специально подобранных пород деревьев и кустарников, успешная борьба с вредителями будут способствовать повышению стабильности и устойчивости экосистемы. Лесополосы — это не только защита от ветровой эрозии, но и экологическая ниша для полезных насекомых и птиц. В условиях обедненных сухих степей Забайкалья, с ограниченным числом видов растений, защитные лесопосадки служат важнейшим фактором эколого-биоценотического преобразования ландшафта. «...При правильной планировке,— отмечал М. С. Гиляров,— культурные ландшафты становятся специфическими экосистемами с более высокой способностью биоценотического комплекса к саморегулированию».

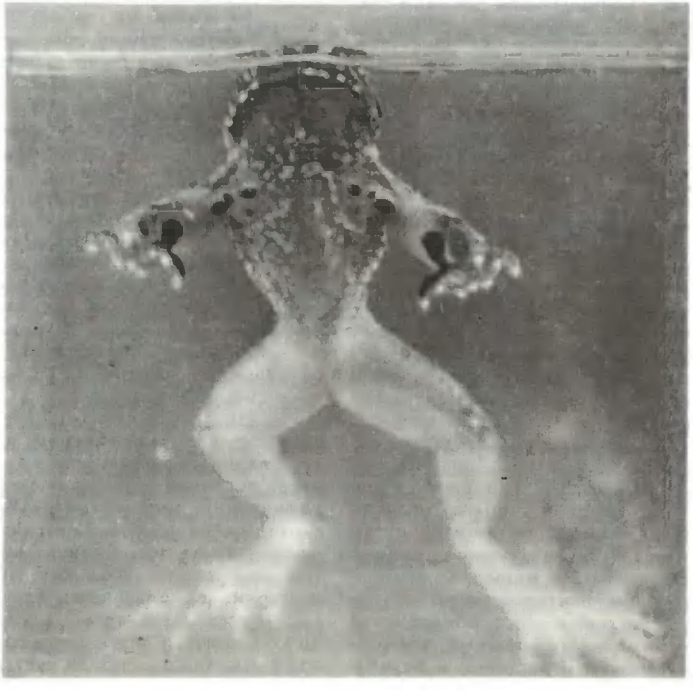
КРАСНАЯ КНИГА

Кавказская крестовка

Н. С. Голубев

Кубанский сельскохозяйственный институт Министерства сельского хозяйства СССР
Краснодар





Кавказская крестовка (Pelodytes caucasicus) — небольшое бесхвостое земноводное с длиной тела 4—5 см. Своим названием она обязана характерной окраске — светлому пятну на спине в виде косого креста. Встречается она в лесах гор и предгорий Кавказа и как узкоареальный вид занесена в Международную красную книгу. Род крестовок кроме кавказской включает пятнистую крестовку, распространенную на западе Европы. Кавказская крестовка — эндемик Кавказа и относится к редким реликтовым видам земноводных.

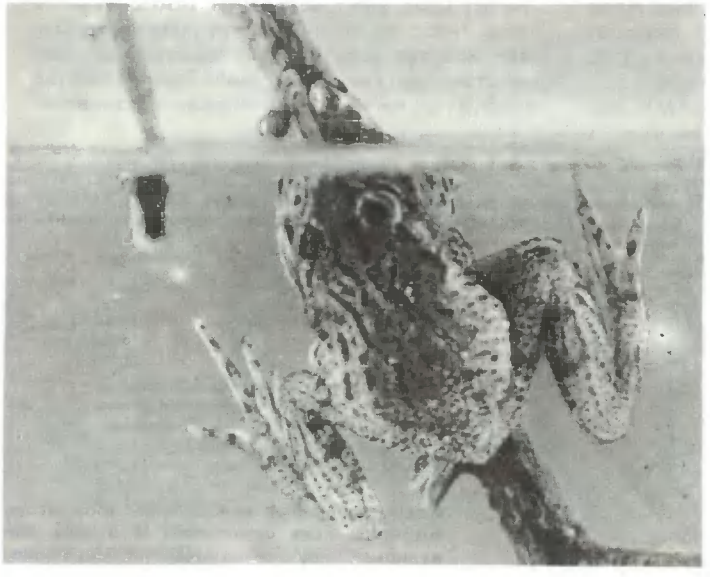
Биология ее слабо изучена, поскольку это миниатюрное, ведущее сумеречный и ночной образ жизни животное редко попадается людям на глаза. Наблюдать кавказскую крестовку можно чаще всего в местах икрометания — в заводях небольших рек, ручьев и т. д.

Самцы кавказской крестовки отличаются от самок более крупными размерами и появляющимися у самцов в период размножения черными шершавыми брачными мозолями. Но если у других земноводных

Самка кавказской крестовки. На спине виден светлый косой крест.

Самец кавказской крестовки, поджидающий самку в воде, — над поверхностью воды видны лишь ноздри. На конечностях, груди и подбородке — брачные мозоли чёрного цвета.

нашей фауны мозоли имеются лишь на одном-двух пальцах передних конечностей и предплечье, то у кавказской крестовки — еще и на плече, груди и даже подбородке. С помощью такого мощного захватывательного аппарата самцы крепко удерживают самку при спаривании. Мы наблюдали спаривание самца кавказской крестовки, у которого полностью отсутствовала правая передняя конечность.



Спаривание крестовок.

Кладка кавказской крестовки на упавшей в воду ветке.

Во время спаривания самка хватается передними конечностями за подводные предметы (чаще всего — упавшие в воду ветки деревьев) и откладывает на них икру. При набухании студенистых оболочек икринок кладка увеличивается в объеме и обволакивает ветку, принимая форму более или менее правильного цилиндра. Кладок такой формы нет ни у одного земноводного данного региона. Сроки размножения кавказской крестовки растянуты с мая по сентябрь.

Альбинизм — явление редкое среди амфибий. Тем не менее в окрестностях пос. Артани (Восточная Грузия) мы обнаружили голодастика-альбиноса кавказской крестовки. Размерами (общая длина его тела 3,68 см) и поведением альбинос не отличался от своих собратьев. Но вид его был необычен: сквозь прозрачные покровы были хорошо видны хрящевой скелет, головной мозг, внутренние органы и очертания полостей. Красноватым пульсирующим пятном выглядело сердце, между петлями кишечника выделялось развитое жировое тело. Губные зубы и края роговых челюстей у этой личинки оставались черными.

Кавказская крестовка обладает еще одной интересной особенностью: это единственное бесхвостое земноводное нашей страны, личинки которого обычно остаются на зимовку в водоемах и превращаются в лягушку лишь на следующий год.

Естественных врагов у кавказской крестовки немного. Этих амфибий иногда поедают обыкновенные ужи, а также водяные землеройки — куторы, которые ловят их в местах икрометания.

На численность и распространение кавказской крестовки пагубно влияет хозяйственная деятельность человека. К основным причинам исчезновения этой амфибии в ряде мест относятся сведение лесов, бесконтрольный выпас скота, уничтожение природных мест икрометания в результате дорожных и земляных работ. Область распространения кавказской крестовки в настоящее время явно сокращается. Особенно тревожно ее положение в восточной части ареала, имеющего вид узкой (10—15 км) прерывистой полосы леса у южного склона Большого Водораздельного хребта. Одной из мер, направленных на сохранение кавказской крестовки, было бы выявление и охрана крупных нерестилищ вместе с прилегающими к ним биотопами.

Можно ли сохранить земли КМА?

В. С. Бобринская

Вера Сергеевна Бобринская (Сидорова), кандидат технических наук, старший научный сотрудник сектора черной металлургии Совета по изучению производительных сил при Госплане СССР. Занимается вопросами перспектив развития железорудных комплексов, оценки их влияния на окружающую среду.

Хлеб всегда был важнейшим продуктом, мерилом всех ценностей. И в наш век великих научно-технических достижений он составляет первооснову жизни народов.

Л. И. Брежнев

В Центрально-Черноземном районе Европейской части СССР, в исконно русских обжитых местах создается территориально-производственный комплекс, главная задача которого — разработка одного из крупнейших в мире железорудных бассейнов Курской магнитной аномалии (КМА).

Не раз приходилось мне бывать в этом краю, где из карьеров один за другим с ревом ползут тяжелые автосамосвалы с железной рудой, направляясь к обогатительным фабрикам, чьи силуэты поднимаются на горизонте. Незабываемое впечатление от размаха индустрии еще более подчеркивается тем, что комплекс КМА находится еще в первой стадии своего формирования и в перспективе достигнет поистине грандиозных масштабов. В будущем Стойленский и Лебединский карьеры КМА, имеющие в настоящее время глубину около 100 м, сольются и образуют одну гигантскую чашу диаметром в 10 км и глубиной 300 м. В несколько раз возрастет число корпусов обогатительных фабрик, будет построен Оскольский электрометаллургический комплекс и много других предприятий.

800 лет назад здесь был пленительный уголок России, именуемый Северской Русью. Луговые степи перемежались с дубовыми рощами, множество зверей и птиц обитало в лесах, полноводные реки и озера кишели рыбой. Половцы и татары разграбили и опустошили Северскую Русь. Но в XVI в. край стал опять заселяться и скоро превратился в один из центров земледелия и скотоводства России. Однако вырубка лесов, распашка степей уже в XIX в. привели к необратимым изменениям в природе центрально-черноземных областей России — пересохли многие небольшие чистые реки, исчезли озера. И если теперь пройти в конце лета вдоль широких, еще не вспаханных логов, трудно представить себе, что когда-то здесь, в выжженных солнцем безводных долинах шумели леса, кипела жизнь.

Степи сохранили XX веку плодород-

нейшие почвы. Толщина чернозема здесь достигает 1—1,5 м. По дороге то и дело попадаются кучки земли, выброшенной кротами. Берешь эту землю — словно черная икра сверкает она в ладонях.

Другое богатство района — протянувшиеся на сотни километров пласты железных руд. Под толщей песков и глин пласты уходят на неизвестные пока глубины: скважины, пробуренные на сотни метров, не выходят за контуры рудных тел. Верхняя, наиболее доступная их часть — железистые кварциты. Под ними на глубине

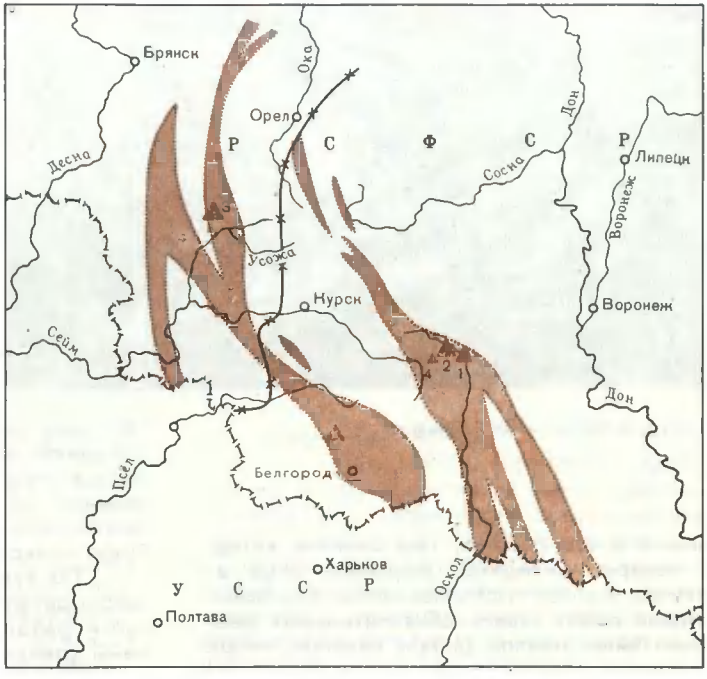
Карта-схема расположения территориально-производственного комплекса КМА.

железорудные зоны

западная граница черноземов

действующие железорудные предприятия: 1 — Стойленский, 2 — Лебединский, 3 — Михайловский горно-обогатительные комбинаты, 4 — рудник им. И. М. Губкина

строящийся Яковлевский рудник



600—800 м расположены наиболее богатые гематитовые руды, которые содержат более 60% железа и практически не нуждаются в обогащении. Балансовые запасы железистых кварцитов, разведанных до глубин, целесообразных для открытой добычи, составляют около 13 млрд т; запасы богатых железных руд — 29 млрд т. Прогнозные запасы как железистых кварцитов, так и богатых руд оцениваются многими сотнями миллиардов тонн.

Сейчас руды КМА — это сырьевая база металлургических заводов центральных и северо-западных областей СССР. Отправляются руды КМА и на Урал. Запасы руд КМА настолько велики, что все вновь вводимые мощности металлургической промышленности нашей страны могли бы быть обеспечены за счет ресурсов этого бассейна.

Не только своими грандиозными запасами ценны месторождения КМА: разработка их обходится гораздо дешевле по сравнению с другими железорудными месторождениями. Так, приведенные затраты на 1 т товарной руды на предприятиях КМА ниже аналогичных показателей предприятий Казахстана на 17%, Урала — на 21%, Сибири — на 36%.

Железистые кварциты месторождений КМА залегают на глубине около 100 м и потому разрабатываются открытым способом, карьерами. Как гигантские шрамы рассекают карьеры землю: в настоящее время на глубину 100—130 м, а проектная глубина горных работ 400—500 м. Вокруг карьеров на десятки километров уже сейчас уровень грунтовых вод понизился до 50 м, а в дальнейшем он будет снижаться еще более.

Чтобы получить 1 т железа из кварцитов КМА, нужно извлечь на поверхность 6—8 т этой породы. Уже более миллиарда кубических метров пустых пород, поднятых с глубины, оказались на поверхности. Отвалы высотой 40—60 м изменили прежде равнинный рельеф района КМА. Если даже в тихий день подняться по рыхлому склону отвала, то чем

Панорама Лебединского карьера.

ближе к его гребню, тем сильнее ветер, и вскоре приходится закрывать лицо от жгучих уколов тысяч песчинок. Особенно сильно пылят отвалы обогатительных фабрик. Пыль отвалов (а при сильном ветре она сдувается сотнями тонн) накапливается в почвах, обедняет их, из-за чего в районе КМА урожайность сельскохозяйственных культур уменьшается на 20—40% на расстоянии до 35 км от горно-обогатительных комбинатов. Только непосредственный земельный отвод для производства каждой тысячи тонн железа в товарной руде, по нашим расчетам, составляет 0,6—0,7 га[1]. В настоящее время в районе КМА для нужд горнодобывающих предприятий отторгнуто 25 тыс. га сельскохозяйственных и лесных угодий[2], каждые пять лет, по расчетам автора, для железорудной промышленности должно изыматься около 5 тыс. га плодородных земель[3]. Можно ли будет вернуть эти земли сельскому хозяйству и когда они будут возвращены?

По существующему в нашей стране законодательству, земли, нарушенные горными работами, должны быть восстановлены (рекультивированы), а плодородный слой занимаемых земель перед началом работ следует снимать и использовать для нужд сельского хозяйства. Проблему восстановления нарушенных земель при разработке месторождений полезных ископаемых, залегающих горизонтально, таких как бурые угли, марганцевые руды, в настоящее время можно считать решенной. Разработка таких залежей должна вестись с заполнением выработанного пространства пустыми породами, на которые укладывается слой плодородных земель, а после биологической рекультивации восстановленные земли могут быть переданы сельскому хозяйству. Такого рода рекультивация земель после горных работ орга-

[1] Сидорова В. С.— Горный журнал, 1979, № 5, с. 16.

[2] Гайдамака Е. И. Рекультивация и использование меловых пород вскрыши для известкования кислых почв.— В сб.: Комплексное развитие КМА. Губкин, 1979, с. 36.

[3] Сидорова В. С. Цит. статья, с. 16.

низована в нашей стране при добыче марганцевых руд Никопольского бассейна, бурых углей Александрийского месторождения на Украине и других пологозалегающих месторождений.

Однако при разработке открытым способом крутопадающих на большую глубину рудных пластов, таких как железорудные месторождения КМА, рекультивация нарушенных земель затруднена. До настоящего времени не решен вопрос — как использовать в перспективе карьер глубиной до 500 м и можно ли возвратить в сельскохозяйственный оборот отвалы высотой 50—80 м? Неясно, какие сельскохозяйственные культуры можно выращивать на высоких отвалах, где образуется своеобразный микроклимат: более сухой, с сильными ветрами, с почвой, быстро пропускающей сквозь себя воду. Длительный опыт разработки месторождений открытым способом показывает, что проблема рекультивации весьма сложна и более чем скромные успехи в ее решении не идут ни в какое сравнение с возникающими трудностями.

В 1975 г. площадь восстановленной после горных работ территории во всем мире составила только 5—10% от площади нарушенных земель, в том числе в США — 20%, ФРГ и Польше — 30%[4]. При этом преобладающая часть рекультивированных территорий восстановлена после горных работ на пологопадающих и горизонтально залегающих месторождениях. Там, где разрабатываются крутопадающие месторождения, нарушенные земли восстанавливаются в незначительном количестве. Так, в Криворожском железорудном бассейне, где рудные тела падают под крутым углом, из 22 тыс. га нарушенных горными работами земель в 1979 г. рекультивировано не более 1%, в КМА рекультивировано немногим более 200 га нарушенных земель, что также составляет не более 1%. По подсчетам автора, при разработке крутопадающих месторождений после завершения горных работ для нужд сельского хозяйства может быть возвращено не более 10—15% нарушенных земель. Остальная территория может быть восстановлена либо для рекреационных це-

[4] Зайцев Г. А. Рекультивация — фактор техногенного преобразования ландшафтов.— В сб.: Влияние человека на ландшафт. М.: Мысль, 1977, с. 105, 106.

Старый гидроотвал Лебединского карьера, заросший травой и мелким кустарником.

лей, либо для промышленного строительства. Только очень нескоро можно будет засадить склоны отвалов быстрорастущими неприхотливыми деревьями и кустарником, а на поверхности отвалов посеять травы.

При открытой разработке крутопадающих месторождений КМА встала и вторая проблема — использование плодородного слоя отторгаемых земель. Сейчас чернозем свозят во временные отвалы, где числится более 10 млн м^3 чернозема, но с каждым годом количество снимаемого чернозема возрастает, и через 20 лет объем его составит по некоторым расчетам[5] 100 млн м^3. Не более 30% снятого плодородного слоя может быть использовано для целей рекультивации, а остальной чернозем предложено перевозить для повышения урожайности на малоплодородные почвы, что тянутся узкой полосой вдоль р. Оскола. Правда, ни в отечественной, ни в зарубежной практике пока нет данных, позволяющих с достаточной уверенностью утверждать, что поля с насыпными почвами дадут длительную устойчивую прибавку урожая. Для ответа на этот вопрос нужны всесторонние научные исследования. Кроме того, возникает вопрос, как доставить чернозем на поля, отстоящие от мест его выемки на большие расстояния — от 3 до 15 км. Если перевозить автотранспортом, то потребуются сотни самосвалов, строительство новых дорог, десятки бульдозеров; новая и весьма капиталоемкая отрасль промышленности должна быть организована в районе КМА. При всем том несомненно, что ввод этого дополнительного звена в технологию горных работ увеличит, по нашим расчетам, удельные капитальные вложения на добычу 1 т железной руды не менее чем на 2—3 руб.

Району КМА нужна, крайне нужна вода. Это ясно каждому, кто побывал там летом, кто видел иссушенные солнцем черные земли, которые могли бы дать урожай в 2 раза больший, если провести

[5] Гайдамака Е. И. Цит. статья, с. 36.

к ним воду. Суммарный сток расположенных на территории комплекса КМА рек Оскола, Северского Донца и Сейма составляет, по расчетам автора, в маловодный год на одного жителя менее 1 тыс. м^3, что в 18 раз меньше, чем в среднем по СССР[6]. Воды местных речек почти полностью используются для промышленных и бытовых нужд и затем отводятся в эти же реки, что приводит к их недопустимому загрязнению.

Разработка открытым способом железорудных месторождений КМА вызвала дополнительную значительную нагрузку на водные ресурсы района. Понижение уровня грунтовых вод вокруг карьеров привело в состояние обезвоживания в районе КМА около 250 тыс. га[7], нарушило водоснабжение сел и деревень, ухудшило условия жизни растительного и животного мира, вызвало фильтрацию рек, исчезновение ручьев. Много воды требуется на обогащение железных руд. Чтобы подготовить к плавке 1 т железной руды, нужно безвозвратно затратить 3,5—6 м^3 воды, что при значительных масштабах развития железорудной промышленности составит в год сотни миллионов кубометров. Но в Центрально-Черноземном районе вода поистине драгоценна. Каждые 100 млн м^3 воды в районе КМА — это орошение 25 тыс. га, это резкое повышение (не менее чем в 2 раза) урожайности сельскохозяйственных культур, это основа развития интенсивного овощеводства. Сохранить воду, использовать ее для изнывающих от зноя полей — и эта задача должна стоять перед теми, кто стремится разумно и бережно использовать богатства КМА.

Известно, что для уменьшения загрязнения окружающей среды в любой хозяйственной системе необходимо утилизировать возможно большую часть отходов производства. При превышении допустимого уровня загрязнения природные системы деградируют и погибают. Трудно найти отрасль промышленности, порождающую отходы в таком большом количестве, как при открытых разработках полезных ископаемых: из недр земли извлекаются на поверхность кубические километры безжизненных горных пород, биологически инертных, а иногда и токсичных для растительности. Так, в 1975 г. объем вскрышных пород[8] на карьерах нашей страны составил 2058 млн м^3, в том числе на железорудных карьерах 380 млн м^3. Часть скальных пород отвалов можно использовать для производства щебня, строительного песка, цемента, силикатных строительных материалов, даже удобрений (мела, например). Но доля такого использования невелика: так, в старейшем в нашей стране Криворожском железорудном бассейне, используется лишь 3—5% извлекаемой из карьеров горной массы[9]. Безусловно, удельный вес использования отходов в горной промышленности можно и нужно значительно повысить, но повысить можно только до определенных пределов. По нашим расчетам, пустые породы и отходы фабрик бассейна КМА можно утилизировать не более чем на 14 —16%. И дело не в том, что отходы нельзя использовать: значительная их часть является прекрасным сырьем для производства строительных материалов и цемента. Основное препятствие к использованию — ограниченность района их эффективного использования. Строительные материалы — песок, щебень, глины, кирпич и цемент — являются такой продукцией, что загружать перевозками этих материалов транспорт нерационально: перевозка будет обходиться дороже стоимости их производства. Количество утилизированных отходов горных работ определяется прежде всего потребностью в них в радиусе обычно 400—500 км, максимум 800 км от места расположения горных предприятий.

Таким образом, безотходное производство, представляющееся весьма привлекательным для решения комплекса вопросов по охране окружающей среды, не может быть реализовано при производстве открытых горных работ.

В районе КМА природа соединила одни из своих замечательных сокровищ и трудно решить, какое имеет большую ценность. Как определить ценность чернозема, сложнейшего организма, создававшегося в исключительно благоприятных условиях, чернозема «...крупитчатой структуры, с массой разнообразнейших

[6] Шилин И., Сидорова В.— Под знаменем ленинизма, 1980, № 13, с. 26.
[7] Мосинец В. Н., Грязнов М. В. Горные работы и окружающая среда. М.: Недра, 1978, с. 108.
[8] Мельников Н. В., Ринтович Э. И., Симкин Б. А. и др. Теория и практика открытых разработок. М.: Недра, 1979, с. 6.
[9] Педан М., Гапоненко Г., Мищенко В., Давиденко А.— Экономика Советской Украины, 1979, № 6.

Отвалы Михайловского горно-обогатительного комбината.

мелких животных организмов и тысячами растительных корней»[10].

Плодородный слой земель, создававшийся природой в течение десятков тысячелетий, является сейчас и останется в перспективе главным источником для производства продуктов питания. Однако с годами количество пахотных земель на душу населения сокращается. По данным Министерства сельского хозяйства СССР, за 20 лет площадь пахотных земель, приходящаяся на душу населения, в нашей стране сократилась в среднем на 0,16 га и составила в 1976 г. 0,89 га пашни. Ценность земель и в нашей стране и за рубежом неуклонно и значительно увеличивается. Подобное явление неудивительно, если принять во внимание, что только 10% земельной площади мира по-настоящему пригодны для земледелия и дополнительно лишь 2% могут быть введены в сельскохозяйственный оборот к 2000 г.

В районе КМА помимо земли не менее драгоценна пресная вода. В индустриальных странах потребление воды удваивается через 10—15 лет, постоянно возрастает ее промышленное и бытовое загрязнение. Неравномерность распределения воды в естественных условиях еще более увеличивает ее ценность.

В нашей стране 80% поверхностных пресных вод сосредоточены в восточной части СССР. Поэтому в центре и на юге Европейской части СССР, где уже в настоящее время наблюдается дефицит прес-

[10] Докучаев В. В. Наши степи прежде и теперь. М.—Л.: Огиз—Сельхозгиз, 1936, с. 70.

ных вод, ценность воды несоизмеримо выше, чем в районах Севера и Сибири, а в перспективе этот разрыв еще более увеличится. Так, по некоторым расчетам, стоимость 1 $м^3$ воды в районах центра и юга Европейской части страны равна 8—28 коп., а в районах Сибири и северо-запада — 0—0,6 коп.[11]

Очевидно, что в перспективе стоимость богатств, удовлетворяющих биологические и эстетические потребности человека, возрастет несоизмеримо по отношению к нашим сегодняшним представлениям. Однако не возрастет ли одновременно и стоимость железных руд? Может быть, ради их дешевой добычи в больших масштабах можно пойти на потери других природных богатств района КМА? В известной степени ценность тех или иных природных ресурсов определяется их дефицитом. По отношению к железной руде такого дефицита не наблюдается. Балансовые запасы железных руд СССР при современном уровне производства черных металлов обеспечивают черную металлургию сырьем более чем на 100 лет. Велики также возможности прироста балансовых запасов железных руд за счет прогнозных запасов. В мире количество геологических запасов этих руд оценивается в 370—380 млрд т, что определяет в несколько раз бо́льшую обеспеченность сырьем по сравнению с остальными металлическими рудами. Такая высокая степень обеспеченности железорудными ресурсами дает возможность для широкого выбора при решении вопроса о вводе в эксплуатацию месторождений с учетом максимальной их эффективности для народного хозяйства. И возникает вопрос о целесообразности дальнейшего интенсивного развития железорудной промышленности в густонаселенных, искони сельскохозяйственных районах, таких как Украина и район КМА.

Конечно, ценность минеральных ресурсов помимо их дефицита определяется затратами на добычу и извлечением полезных компонентов. В этом аспекте железные руды КМА и Украины можно рассматривать как самые ценные руды нашей страны. В настоящее время себестоимость 1 т железа, содержащегося в товарных рудах этих районов, на 30% ниже, чем на Урале и в Сибири.

Таким образом, нельзя отказаться от вовлечения в эксплуатацию железных руд и в то же время нельзя отодвинуть на второй план интересы сельского хозяйства в районах — исконных житницах нашей страны.

Кардинальным решением этой проблемы было бы существенное изменение технологии горных работ, исключающее открытую разработку месторождений там, где почвы плодородны и где условия для сельского хозяйства особенно благоприятны. Возможность предотвратить деградацию природной среды при производстве горных работ особенно заманчива для района КМА, разработка месторождений которого только начинается. И реальность выполнения такого направления развития железорудной промышленности существует: это подземная добыча железных руд с технологией, максимально приближающейся к сохранению естественного состояния среды.

В бассейне КМА ожидают своего часа 29 млрд т богатых железных руд, залегающих на глубине 600—800 м от поверхности. Разрабатывать эти руды можно только подземным способом, и в настоящее время строится Яковлевский подземный рудник на одном из глубокозалегающих месторождений КМА. Предприятия, добывающие руду подземным способом, занимают в 10 раз меньше земли по сравнению с существующими в КМА открытыми горными разработками. Если карьеры создают вокруг себя депрессионные воронки, радиус которых определяется десятками километров, то понижение уровня грунтовых вод около шахт обычно ограничивается районом производства горных работ. Подземные работы в значительно меньшей степени запыляют территорию. В то время как на открытых работах пыль отвалов, пыль и газы после взрывных работ и вследствие работы автотранспорта облаком сокружают район добычи полезного ископаемого, то при подземных горных работах источники пылеобразования ограничиваются отвалами пустой породы, объем которых в сотни раз меньше отвалов открытых горных разработок.

Отходы обогатительных фабрик, которые сейчас занимают почти треть всех отторгнутых железорудной промышленностью земель, при подземной добыче могут перекачиваться в выработанное пространство и после добавления к отходам вяжущих добавок использоваться как за-

[11] Егоров А. Н., Зыбина Л. Н., Иванова В. П., Истомин Б. Ю. и др.— Водные ресурсы, 1975, № 5, с. 198.

кладка. Более того, богатые руды месторождений КМА могут сразу же переплавляться на металлургических заводах, не нуждаясь в обогащении и, следовательно, в затратах воды. Отпадет нужда в строительстве обогатительных фабрик, стоимость которых равна трети затрат на строительство горно-обогатительного комбината, исчезнут хранящиеся в отвалах отходы их производства.

Однако в настоящее время подземным способом в бассейне КМА добывается только 5% всей железной руды. Сказывается главный недостаток подземного способа горных работ — более низкая производительность труда и соответственно высокая себестоимость руды. Так, себестоимость руд Криворожского бассейна Украины, добываемых подземным способом, в 1979 г. была в 1,5 раза выше себестоимости руд, добытых в карьерах. Однако металлургическая ценность богатых руд глубокозалегающих месторождений бассейна КМА настолько велика, что проектная себестоимость 1 т железа в товарной руде строящегося Яковлевского рудника равна фактической себестоимости 1 т железа из руд, добываемых из карьеров в этом бассейне.

Можно с уверенностью предположить, что в перспективе открытые разработки, вследствие необходимости выполнения законов по охране окружающей среды, существенно удорожатся. Так, полное восстановление ландшафта при открытой добыче угля в Великобритании составляет от 11,5% до 28% общей стоимости извлеченного угля, а рекультивация территорий, нарушенных при аналогичных работах в США, вызывает удорожание 1 т угля на 1 долл., что заставляет ряд зарубежных компаний отказываться от открытой разработки угольных месторождений.

Безусловно, существовали объективные основания тому, что разработка железорудного бассейна КМА начата и ведется преимущественно открытым способом. Решение о строительстве горно-обогатительных комбинатов на базе бедных железистых кварцитов КМА при наличии в районе огромных запасов богатых глубокозалегающих руд основывалось главным образом на отсутствии апробированной технологии разработки богатых руд, залегающих под обводненными породами. Однако в настоящее время опыт проходки шахтных стволов на Яковлевском месторождении и практика осушения этого месторождения показывают, что есть реальные возможности в перспективе ориентировать развитие горных работ в бассейне КМА не на открытые, а на подземные горные работы.

Но можно ли предусмотреть в перспективе резкий переход от открытых к подземным работам, даже если это необходимо для охраны окружающей среды, для сохранения территории КМА как сельскохозяйственного района?

Время морального старения оборудования определяется в 10—15 лет. По истечении этого времени появляется возможность выбора эффективного вложения капитальных затрат либо на продолжение производства по существующей технологии, либо на резкое изменение технологии работ. Теперь уже очевидно, что следствием расширения открытых горных работ будет потеря плодородных земель этого района, и во избежание этого в перспективе разработка месторождений КМА должна ориентироваться на подземный способ добычи богатых железных руд. Более широкое развитие подземных работ позволит решить одну из важнейших проблем будущего — создание безотходной технологии — и сохранить Центрально-Черноземный район России в качестве сельскохозяйственного района.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Федоренко Н. П., Лемешев М. Я., Реймерс Н. Ф. СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОХРАНЫ ПРИРОДЫ.— Природа, 1980, № 10.

Федоренко Н. П., Реймерс Н. Ф. СБЛИЖЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ В ОХРАНЕ ПРИРОДЫ.— Природа, 1981, № 9.

КОМПЛЕКСНОЕ РАЗВИТИЕ КМА. Губкин, НИИКМА, 1979.

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ. Новочеркасск, 1977.

ВЛИЯНИЕ ЧЕЛОВЕКА НА ЛАНДШАФТ. М.: Мысль, 1977.

Мосинец В. Н., Грязнов М. В. ГОРНЫЕ РАБОТЫ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА. М.: Недра, 1978.

Мельников Н. В., Ринтович Э. И., Симкин Б. А. и др. ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ОТКРЫТЫХ РАЗРАБОТОК. М.: Недра, 1979.

Докучаев В. В. НАШИ СТЕПИ ПРЕЖДЕ И ТЕПЕРЬ. М.— Л.: Огиз-Сельхозгиз, 1936.

Ширяев П. А., Ярхо Е. Н., Борц Ю. М. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЖЕЛЕЗОРУДНОЙ БАЗЫ СССР. М.: Металлургия, 1978.

На заре советской гельминтологии

В. Х. Фраучи

Виктор Христианович Фраучи, доктор медицинских наук, профессор кафедры оперативной хирургии и топографической анатомии Казанского медицинского института им. С. В. Курашова. Занимается проблемами топографической анатомии человека. Автор книг: Топографическая и клиническая анатомия (в соавторстве с Б. В. Огневым). М.: Медгиз, 1960; Топографическая анатомия и оперативная хирургия живота и таза. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1966; Топографическая анатомия и оперативная хирургия груди и конечностей. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1968 и др.

В трудное время становления советского государства молодой энергичный ученый, заведующий основанной им кафедрой паразитологии Московского ветеринарного института, Константин Иванович Скрябин организовал большую гельминтологическую экспедицию в Среднюю Азию. Шел 1921 год. Страна еще не успела оправиться от тяжелых ран гражданской войны. И в этих трудных условиях подлинный энтузиаст науки берется за организацию экспедиции! А ведь это была уже 5-я экспедиция! Первые четыре обследования гельминтозов северного побережья Азовского моря были проведены К. И. Скрябиным в течение 1919—1920 гг. Обследования производились по новой, разработанной К. И. Скрябиным, методике «полных гельминтологических вскрытий», позволявшей производить исчерпывающие исследования по обнаружению различных видов паразитов.

«Еще в разгар зимы (1921 г. — *В. Ф.*), — пишет Константин Иванович, — я задумал большую гельминтологическую экспедицию в Среднюю Азию, которая по старинке называлась Туркестанским краем... Мы задались целью получить общее представление о гельминтофауне всех классов позвоночных Туркестанского края, ознакомиться с гельминтозами туркестанских верблюдов, о паразитических червях, о которых мы не имели почти никаких данных. Было решено организовать изучение возбудителей гельминтозных заболеваний мелкого и крупного рогатого скота, лошадей. Намечалось также изучение фауны паразитических червей пустынных животных, в частности обитателей каракумских песков».[1]

Надо подчеркнуть, что зараженность гельминтами животных тогда была исключительно высокой. Достаточно сказать, например, что зараженность эхинококком бродячих собак в 20-е годы под Ташкентом, Бухарой и другими городами Средней Азии достигала 100%. А ведь это тяжелое заболевание и для человека.

К. И. Скрябин считал, что необходимо изучить паразитов всех позвоночных животных в стране (как домашних, так и диких), дабы установить циклы развития гельминтов, их взаимосвязь, их «круговорот» в природе. 5-я экспедиция была важным шагом в осуществлении этой программы.

Мое участие в экспедиции было совершенно неожиданным. Однажды в мае 1921 г. меня, девятнадцатилетнего студента-биолога второго года обучения Московского университета, вызвали к профессору

[1] Скрябин К. И. Моя жизнь в науке. М.: Политиздат, 1969, с. 133.

Константин Иванович Скрябин и Виктор Христианович Фраучи во время 5-й гельминтологической экспедиции.

зоологии Владимиру Викторовичу Васнецову — сыну знаменитого художника. Он мне сообщил, что кафедра зоологии позвоночных животных рекомендует меня профессору К. И. Скрябину в качестве орнитолога в 5-ю гельминтологическую экспедицию сроком на полгода. Не приходится говорить, насколько я был этому рад.

Дело в том, что я с детства увлекался зоологией и уже с ранних лет изучал систематику птиц. Живя в сельской местности, я изучал повадки птиц, знал их голоса. Эта страсть к птицам привела меня в Ярославский естественноисторический музей, куда я отдавал шкурки убитых мною птиц. Благодаря этому я в 17 лет получил командировку от Ярославского естественноисторического общества для исследования в орнитологическом отношении знаменитого «Варегова болота», что недалеко от Рыбинска. Мне выдали командировочные и продовольственный паек на месяц. Это было незабываемое время. Непроходимое болото, поросшее карликовой березой, местами глухие «окна», куда можно провалиться в черную торфяную жижу. Я добыл двух серых журавлей, соколов — чеглока и дербника — и много мелких птиц, чучела которых теперь находятся в Ярославском музее.

Поступив в 1920 г. в Московский университет на естественное отделение физико-математического факультета, я тут же принес свою новую коллекцию птиц в Зоологический музей. Мне было выделено рабочее место, и я, помимо занятий в университете, продолжал изучать систематику птиц. Вот почему я попал в эту экспедицию.

В июне 1921 г. были утверждены члены экспедиции в составе 16 человек. Константин Иванович пишет в своей книге: «В конечном итоге состав экспедиции был укомплектован: в него вошли Г. Виттенберг, В. Фраучи, К. Кременский, 10 препараторов и два лабораторных служителя»[2]. В числе препараторов была и молодая девушка Татьяна Ченцова.

Виттенберг выполнял функции заместителя начальника экспедиции. Я должен был определять виды птиц, устанавливая их видовое и родовое латинское наименование. Кроме того, я, Кременский и один из служителей — И. Иванов — были охотниками и должны были добывать не только птиц, но и млекопитающих, а также рептилий и амфибий. Рыбу для изучения предполагалось покупать у рыболовов.

[2] Там же, с. 134.

«Намечены пункты, — пишет далее Константин Иванович, — где экспедиция должна была сосредоточить свою работу: Аральское Море, Казалинск, Кара-Узяк близ Кзыл-Орды, Ташкент, Голодная степь, Урсатьевская, Самарканд, Бухара, Фараб, Чарджоу, Репетек и Мерв[3]. Таким образом, мы совершили путь от Москвы до Мерва, после чего повернули назад и тем же путем возвратились в Москву. Путь экспедиции составил в общей сложности 8060 верст»[4].

В распоряжение экспедиции было выделено 3 вагона: жесткий пассажирский вагон («пульман») для членов экспедиции и два товарных вагона. В первом была организована лаборатория. Второй вагон был превращен в кухню и столовую для членов экспедиции.

К. И. Скрябин выехал в Туркестан с семьей: с женой Елизаветой Михайловной и двумя сыновьями — Сережей и Георгием, будущим академиком Георгием Константиновичем Скрябиным.

Весь июнь члены экспедиции работали на базе Московского ветеринарного института в Кузьминках (под Москвой), знакомясь с методикой исследования материала и готовясь с первого дня поездки работать квалифицированно и в полную силу.

Первого июля экспедиция тронулась в путь. Ехали медленно с частыми длительными остановками из-за недостатка паровозов. Уже в пути во время стоянок добывали птиц, бродячих собак и кошек.

До Оренбурга мы ограничивались добычей грачей, ворон, галок, домашних и полевых воробьев, трясогузок и голубей.

После Актюбинска картина изменилась: мы стали добывать удодов, золотистых щурок, а на станции Кудук настреляли множество розовых скворцов (Pastor roseus L.), которых, по-видимому, никто до нас не исследовал в гельминтологическом отношении.

СТАНЦИЯ АРАЛЬСКОЕ МОРЕ

Первую длительную остановку мы сделали на станции Аральское Море. Приехали сюда в полдень. Тут же начали осматривать одноименный поселок и берег моря. Константин Иванович спросил, умею ли я управлять парусной лодкой? Взглянув на море, я спокойно ответил, что ведь это совсем несложно. Тогда, сказал Константин Иванович, я назначаю вас начальником экскурсии на тот виднеющийся на горизонте остров. Поедете вчетвером: Таня, Кременский, вы и Иванов. На острове много морских птиц и куликов, а Таня будет ловить рептилий — агам, круглоголовок. А может быть, и змею поймает.

Мы переночевали в вагонах, а утром были уже на берегу. Но море было уже другим: огромные волны и свежий встречный ветер. Мне стало не по себе, но сознаться, что никогда к парусу не прикасался, не смог.

Рыбак даже в маленьком заливе с трудом удерживал высоко поднимающуюся на волнах лодку. «Смотри, держи круче к ветру», — предупредил он. А что значит «круче к ветру» — я понятия не имел. Кое-как все уселись. Я — на корме. В одной руке держу руль, в другой — веревку от паруса. Как только рыбак отпустил лодку, нас подхватило и потянуло в море. «Круче к ветру... тяни сильнее!», — успел я услышать крик рыбака.

Вцепившись в веревку и держа руль, я пошел левее видневшегося впереди острова. Ибо знал: вести лодку надо навстречу волнам. Лодка непонятным образом неслась с огромной скоростью, как мне казалось, почти против ветра. Через некоторое время, как-то приспособившись, я пробовал менять натяжение веревки и изменять направление движения. Лодка слушалась хорошо, и я успокоился. По-счастью, к десяти часам ветер начал спадать, море сделалось спокойным.

К полудню лодка ткнулась в песок долгожданного острова. Здесь мы разошлись: я пошел по правому берегу, мальчики по левому, а Таня с сачком и корзинкой с мешком направилась ловить ящериц и змей. Ей особенно хотелось поймать встречающуюся здесь стрелу-змею. Змея ядовита. Она делает внезапный выпад, «вылетает» из песка и, развернувшись, мгновенно бьет своего врага или добычу.

Я шел по берегу не торопясь, и вдруг заметил, что в моем направлении летит с моря какая-то огромная птица. Спрятаться было негде, и я замер в самой неудобной позе на песке, чтобы обмануть птицу. И не ошибся: она, несомненно, приняла меня за какой-то выброшенный морем предмет и решила его проверить. Я проявил большую выдержку и дождался момента, когда она, планируя, собралась на меня сесть. Тут я быстро вскочил. Огромный, почти с гуся черноголовый хохотун из семейства чаек сильными взмахами могучих крыльев стал удаляться. Он представлял хорошую мишень и был убит

[3] Ныне г. Мары.

[4] Скрябин К. И. Моя жизнь в науке, с. 134—135.

первым же выстрелом. Дальше мне встретилась большая стая крупных куликов — шилоклювок. Они были доверчивы до удивления, и я без труда добыл несколько штук.

Остров был мал, и мы вскоре все встретились. Мои друзья тоже принесли богатую добычу — куликов и чаек, а Таня поймала несколько великолепных агам. Я сам очень любил ловить этих крупных рептилий. Бывало, она выскочит неожиданно откуда-то из-под ног, пробежит несколько метров и замирает. Тогда надо осторожно к ней подходить, и чем ближе, тем осторожнее. Наконец, вы медленно протягиваете к ней руку. Здесь надо быть терпеливым. Ящерица внимательно наблюдает за вашей рукой, но в медленном ее движении не чует опасности. Вдруг она делает рывок, поворачивает голову и замирает в новой позе. Вы неуклонно подводите к ней руку. На расстоянии 15 см внезапно сами делаете рывок и мгновенно хватаете агаму позади головы. Она не ядовита, но кусается пребольно. Поэтому надо соблюдать большую осторожность. У нее холодное, сухое и очень шершавое тело, как терка. Мне очень нравилось охлаждать свою руку, держась за ее туловище. Через некоторое время, сидя в темноте сумки, она уже не сердится, позволяет себя гладить и не пытается укусить.

На той же стоянке Аральское Море мы совершили еще одну весьма полезную и интересную экскурсию.

По просьбе Константина Ивановича нам дали дрезину, на которой мы должны были совершить поездку за 30 км от этой станции, где полотно железной дороги вплотную подходит к морю. Поехали в обычном составе: Таня, Кременский, Иванов и я. Дрезина была ручная, и мы, сменяясь, поочередно работали у рычага.

Выехав рано утром, через несколько часов подъехали к пустынному берегу моря. Здесь нам пришла в голову неплохая мысль: отправить нашего провожатого на 10 км назад, где он должен был дожидаться нас вечером. Мы же наметили пройти пешком по берегу моря, а затем свернуть в барханы и выйти к намеченному месту. Так и порешили. Компаса у нас не было — рассчитывали на собственные способности ориентироваться в окружающей обстановке.

Тронулись в путь в самом жизнерадостном настроении. По дороге ловили агам и круглоголовок, поймали отличную степную черепаху и настреляли много птиц. Чаще всего попадались кулики: хулочники — с огромными ногами и длинной шеей, уже знакомые нам шилоклювки с загнутыми вверх клювами, большие веретенники. Мне удалось добыть веретенника (или, как его называл С. Т. Аксаков, неттигиля) с врожденным пороком: его подклювье было расщеплено на две раздельные половинки. Как он ухитрялся доставать пищу таким «тройным» носом, оставалось непонятным. Объяснение же такого порока несложно: все позвоночные животные и человек построены по принципу билатеральной симметрии. Органы закладываются парными, а по средней линии тела парные зачатки сливаются и формируют уже непарный орган, например сердце. Встречаются случаи, когда парные зачатки нижней челюсти не срастаются, и поэтому образуются две нижнечелюстные кости.

Наша экскурсия продолжалась. Время летело незаметно. Найдя великолепный пляж, мы устроили дневной отдых. Много купались, пообедали, полежали на песке. Однако меня начинала тревожить мысль: как бы не сбиться с правильного направления, когда мы пойдем напрямик через песчаные барханы к железной дороге. Ведь она здесь уходила далеко в сторону.

Когда солнце стало склоняться к западу, я предложил засветло тронуться в путь через пески. Все с этим согласились.

По дороге встретили интересную новую птицу — саксаульскую сойку, живущую в самых глухих местах среди саксаула. Птица уходила от нас стремительными перебежками. Когда же, думая подойти к ней на выстрел, мы приближались, она взлетала и, пролетев несколько метров, садилась и снова бежала. С трудом нам удалось добыть одну такую птицу.

Тем временем солнце опустилось за горизонт, и как-то сразу стало темно. Шли долго. Все молчали, и, по-видимому, каждый сомневался: правильно ли идем? Устав за целый день, мы еле тащились, спотыкаясь и увязая в песке. По нашему расчету, мы давно должны были выйти к железной дороге. А ее все нет. Не видно при этом ни одного огонька. Черная ночь и яркие звезды. Уж не идем ли мы параллельно дороге? Тогда и пропасть немудрено. И тут Кременский не выдержал. Не говоря ни слова, он поднял ружье и дал в воздух один за другим два выстрела. Мы всматривались вдаль, секунды шли, а ответа все не было. И вдруг, о радость! — вдали блеснул огонь ответного выстрела. И точно в том направлении, куда мы шли. До нас дошел глухой звук отдаленного

выстрела. Все воспрянули духом, сил у нас прибавилось, и вскоре мы были у дрезины. Главной добычей нашей экспедиции была саксаульская сойка, гельминты которой представляли большой научный интерес.

ЗА РОЗОВЫМИ ПЕЛИКАНАМИ

На следующий день наша экспедиция тронулась дальше. Поезд снова отстукивал километры на юг. Здесь в купе произошел эпизод, едва не стоивший мне жизни.

Я готовил заряды для очередного выхода на охоту. На нижней полке у противоположного окна стоял большой зарядный ящик с охотничьими припасами. За ящиком я держал паклю, которой запыживал патроны.

Засунув руку за ящик, я наощупь ухватил пучок пакли и вытянул его наружу. Заметил, что на пакле сидит какой-то паук. Всмотрелся. На его спине отчетливо виднелось несколько белых пятен. Уж не каракурт ли — самый ядовитый паук, от укуса которого погибает даже верблюд? Паук спокойно перемещался по пакле от одной руки к другой. Но тут я уже был осторожен. Прибежав к Константину Ивановичу, показал ему свою находку. Справочник, к которому мы прибегли, подтвердил нашу догадку. Это дейст вительно оказался каракурт. Хорошо, что я не коснулся этой ядовитой твари, когда доставал паклю, думалось мне.

Прибыли на станцию Караузак, расположенную на берегу одноименной реки близ ее впадения в Сырдарью (в переводе — «Черная река»). Она расположена в 20 км к северу от Кзыл-Орды. Как рассказывали нам солдаты, охраняющие мост, под мостом в огромной яме жил двадцатипудовый сом. Это чудовище, по их словам, утащило за ногу их товарища, который этим незавидным путем расстался с жизнью, в чем, по правде говоря, мы усомнились.

Вскоре мы с Кременским разыскали большое озеро, заросшее на огромном пространстве тростником. Мы обратили внимание, что на озеро опускаются стаи каких-то громадных птиц. Оказалось, что птицы садились на озеро против ветра, поэтому все стаи шли с одной стороны. Это были розовые пеликаны. Только теперь мы заметили, что в небе кругами летают стаи этих птиц. Их было очень много. Накружившись на большой высоте, они начинали планировать вниз и садились на озеро. По-видимому, птицы обучали летному искусству свою молодежь. Хорошо было видно, как много стай пеликанов кружились на разной высоте. При поворотах они часто становились невидимыми, но потом снова ярко блестели на солнце. Нам удалось убить двух птиц при посадке на озеро. Какими выцветшими и поблекшими являются нам эти удивительные красавцы в зоопарках! На природе все поражает в этих птицах: и чудовищный клюв с легко растягивающимся мешком, могущим вместить трехкилограммовую рыбину, и необыкновенные оттенки оперения. Многие называют их «безобразными красавцами».

С трудом мы несли домой тяжелых птиц. Внезапно я увидел быстро ползущую змею. Я бросился в погоню и, хотя она ловко увертывалась от моих ударов шомполом, все же убил ее. Вскоре я убил вторую змею, уже крупнее.

Наконец мы подходим к нашим вагонам. Все члены экспедиции вышли навстречу и с интересом слушали наш взволнованный рассказ о множестве увиденных нами птиц, и главное — пеликанов. Внезапно Таня, которую больше всего интересовали змеи, вскрикнула. Оказалось, что одна из «убитых» мною змей очнулась и, изогнувшись, тянулась к моей руке, которой я держал обеих змей за хвост. Я выронил змей. Вскоре их засунули в ящик.

СМЕКАЛИСТЫЕ ЛЯГУШАТА

Следующую остановку мы сделали в городе Кзыл-Орда. В то время он именовался Перовском. В 1921 г. город был совсем маленьким. У каждого дома имелась бахча с прекрасными дынями и арбузами, а также виноградником. Мы были особенно поражены тем, что в городе, даже в его центре, постоянно живут дикие фазаны. Вечерами всегда слышали их крики. Думается, что даже в то время трудно было указать город, в котором наблюдалось бы такое содружество дикой и красивой птицы с человеком.

Приехав сюда вечером, мы переночевали в вагонах, а утром тронулись в путь. Подойдя к Сырдарье, на пароме переехали на другой берег, здесь разделились на две группы: двое наших охотников пошли вниз по течению, а мы с Татьяной направились вверх по реке. Берега обрамляли заросли кустарника. Вскоре почти из-под наших ног выпорхнул большой монгольский фазан-самец и полетел через реку на

К. И. Скрябин (второй слева во втором ряду) с сотрудниками экспедиции в Кузьминках. На переднем плане сидит сын К. И. Скрябина — Георгий; за ним стоят Т. Ченцова и В. Фраучи (третий справа в первом ряду).

другой берег. После моего выстрела упал в воду. Его понесло вниз по течению. В Сырдарье очень быстрое течение и очень мутная вода. Я бросился вплавь за убитой птицей. Догнал ее без труда; как всегда, схватил ее лапу зубами и направился к берегу. Надо сказать, что из колючего кустарника фазана поднять на крыло очень трудно. Он не желает вылетать, а спокойно отбегает в сторону и залегает в самой гуще сухой травы. Поэтому, побродив до полудня, мы убили еще только одного фазана, выпорхнувшего также из-под самых ног.

Устав от ходьбы и жары, мы вышли к реке поесть и отдохнуть. У меня за спиной висел синий кувшин с укрепленной на нем крышкой. Решили вскипятить воду и заварить чай. У нас были хлеб, чай, сахар и соленая рыба.

И здесь, спускаясь к воде, я заметил, что множество мелких лягушат от меня не прыгали в воду, а скакали вверх, в гору, на берег. Почему бы это? Они явно боялись прыгать в воду. Значит, их кто-то подстерегает? Я немедленно прореагировал: достал простую бечевку, взял длинную палку и привязал маленький рыболовный крючок. Удочка была готова. Началось соревнование: только заброшу удочку с новым лягушонком, зацепленным крючком за хребтинку, кто-то его хватает, но не подсекается. Так я переловил всех окрестных лягушат, но ничего поймать не мог. Крючок был мал. Но вдруг кто-то наконец зацепился, и я вытащил хорошего сома. Вот это кто, оказывается. Я измерил его рукой: четыре четверти. Рыба большая, но шла она как-то вяло, почти без сопротивления.

Теперь можно приняться за уху. Я развел костер, вычистил рыбу и стал ее варить. Было очень жарко, и я посоветовал Татьяне отдохнуть в тени густого кустарника на берегу. Сам же остался у костра. Периодически я брал удочку и забрасывал снова, но по-прежнему сомы стягивали лягушат, а сами не попадались. Неожиданно я нашел огромную старую травяную лягушку. Немедленно зацепил за хребет эту громадину, но она растопырила лапы и погружаться не пожелала. Пришлось вместо легкого грузила привязать хороший камень. Тут уж лягушка утонула. В это время закипела вода в кувшине и стала выплескиваться с шипением через край. Я воткнул удилище в землю и побежал к костру наводить порядок. Вдруг услышал удар удилища по воде, быстро обернулся и увидел, что моя удочка неспеша отплывает от берега. Мгновенно разделся и кинулся догонять палку.

Вагон экспедиции. Перед вагоном — начальник экспедиции К. И. Скрябин; над ним в окне — В. Фраучи. На площадке вагона рядом с проводником — Елизавета Михайловна, жена К. И. Скрябина. Надпись на вагоне — «Гельминтологическая экспедиция».

В это время она изменила направление и поплыла вверх по течению. Я догнал палку, схватил ее за конец и потянул. Почувствовал сильный рывок, и все было кончено. Леска была разорвана, и рыба моя с крючком и бечевкой исчезла в мутной воде Сырдарьи.

На обратном пути мы стали свидетелями такой сцены: на песчаную отмель двое казахов вытягивали из воды бредень. Вдруг мы увидели непонятное: рыбаки вытащили огромного сома, взяли его один за голову, другой за хвост, раскачали и выбросили назад в реку. Лишь позднее мы узнали, что многие казахи считают сома поганой рыбой.

В ПОГОНЮ ЗА ПОЕЗДОМ

Миновав Кзыл-Орду, наш поезд медленно полз в южном направлении. Ехали вдоль Сырдарьи, приближаясь к станции Чиили. Прошедшие ливни в течение нескольких дней привели к бурному таянию снегов в горах и большому наводнению. В районе Чиили Сырдарья разлилась, затопив огромное пространство. Вода вокруг нас была до самого горизонта. Лишь узенькая полоска полотна железной дороги возвышалась над бескрайним водным пространством. Поезд шел со скоростью пешехода. Быстрее ехать в этих случаях нельзя. Разумеется, наша четверка, включая Татьяну, сидела на крыше вагона, с интересом наблюдая окружающее. Это мы делали постоянно: на крыше не так жарко.

По бокам дороги торчали из воды верхушки кустов и невысокие редкие деревца. Вся имеющаяся в округе живность разместилась на узкой полоске земли — полотне дороги. Сверху нам хорошо было видно, как по мере приближения паровоза разлетались в стороны фазаны. Отлетев, они садились на деревьях и незатопленных кустах. В трудное положение попали фазанята. Совсем маленькими они уже могут летать. Но самое трудное для них — сесть на ветку и удержаться на ней. Каждый фазаненок, подлетев к кусту, долго хлопал крыльями на одном месте, пока многие из них падали в воду и барахтались в ней. Трудно сказать, удалось ли спастись этим попавшим в беду птицам.

Свыше 20 км проехали мы в таких условиях, пока не выбрались «на сушу». На первой же остановке я чуть не попал в неприятное положение.

Природа для охотника здесь — настоящий рай. Небольшие озерца с камышом и тростником, протоки, болотца, видимые даже из вагона летающие утки и кулики манили к себе. Я решил рискнуть. С ружьем

в руке побежал к небольшому озерку, куда только что опустились утки. Подбежав, заметил, что над водой летит черная птица, похожая на крупную утку. После моего выстрела она упала в воду у самого края камыша. Сбросив одежду, я быстро поплыл за добычей. Уже прикусил зубами лапу птицы, как вдруг услышал длинный гудок нашего паровоза. Изо всех сил поплыл к берегу. Выскочив из воды, втиснул ноги в башмаки и бросился бежать, держа в руках ружье, птицу и рубаху. До вагонов около ста метров. После первой неудачной попытки сдвинуться с места, поезд постепенно набирал скорость. Наконец выбежал к полотну. Вагоны уже довольно быстро пробегали мимо меня, но среди них не было ни одного с тамбуром. Пришлость рассчитывать на последний вагон. Собрав все силы, разогнался и ухватился за поручень. Отдышавшись, рассмотрел убитую птицу. Это был малый баклан, относящийся к отряду веслоногих. У них имеется не две перепонки между пальцами, как у уток, а еще широкая дополнительная перепонка между первым и вторым пальцами. Получается широкая лапа, очень удобная для загребания воды. Недаром эти птицы — отличные пловцы и под водой могут догнать рыбу. Этому способствует и тонкий крепкий зубчатый клюв птицы с острым крючком на конце.

На следующей остановке, пробежав весь состав поезда, я возвратился в свой первый вагон за паровозом.

РИШТА

Тем временем в нашем вагоне-лаборатории ежедневно шла интенсивная работа по вскрытию добытых животных и извлечению из них различных гельминтов. Их находили в печени, желудочно-кишечном тракте, в легких, в почках, извлекали из мозга, из подкожной клетчатки многих животных. Непривычного человека должно было удивлять, что у некоторых птиц мы находили нематод даже в глазных яблоках. Нас всех поражала специфичность локализации гельминтов. Так, нематода глаз встречается только у утиных птиц. Другая нематода — только под кожей ягодичной области собак, третья — только в полости сустава куликов, четвертая — только в почке млекопитающих. Крупную нематоду, относящуюся к семейству Dioctophymidae, эластичную с красноватым оттенком, мы встречали у собак. Она разрушает всю почечную ткань, оставляя только капсулу почки, и располагается здесь большим, упругим клубком. В литературе описано развитие этого паразита и в почке у человека.

Особый интерес вызывает знаменитая ришта. В 1921 г. мы могли убедиться в широком распространении этого паразита. В Самарканде, Бухаре, Ташкенте, проходя по старой части города, можно было встретить вывешенные на окнах и дверях пучки высушенных ришт. Этот тонкий, как спица, и длинный паразит белого цвета относится к типу круглых червей. Выставленные пучки паразитов приглашают посетителя обратиться к живущему здесь знахарю, владеющему способом извлечения их из тела человека. Какой удивительный круговорот! Незнакомые с гигиеной жители города черпают воду прямо из арыка и пьют. При этом они проглатывают небольшое членистоногое животное, величиной с булавочную головку, — циклопа, который наглотался личинок ришты, плавающих в воде арыка. В желудке человека хитиновая оболочка циклопа растворяется. Личинка освобождается и мигрирует по кровеносному руслу и наконец поселяется в подкожной клетчатке, как правило, нижних конечностей. Примерно через год, когда самка паразита становится половозрелой, ее головной конец приближается к поверхности кожи, где образуется пузырь, который вскоре лопается. Когда хозяин паразита заходит в арык вымыть ноги, многочисленные подвижные личинки ришты попадают в воду. Дальше цикл повторяется: циклоп заглатывает личинки, его самого с водой проглатывает человек. Этим путем и происходит вечный круговорот. Нам остается задуматься: как же ришта «догадывается», что лучшим для нее местом являются ноги хозяина. До чего же доходит приспособляемость паразита!

Ну а как удаляли ришту местные знахари? А очень просто. Больную ногу ставят в воду и головной конец ришты в разрыве пузыря ущемляют в расщепе палочки. В таком положении приходится долго ждать. Ришта напрягается, стремясь высвободиться, но сделать этого ей не удается. Через некоторое время, устав, она расслабляет свое тело. Этим пользуется «врач»: он тотчас накручивает ее на палочку, и постепенно удается вытянуть паразита из-под кожи больного.

Относительно дальнейшей судьбы ришты необходимо сказать следующее. Изучение гельминтологами механизмов интимного взаимодействия между этим паразитом и его жертвой, общий подъем культуры населения, специальные профилактические мероприятия позволили до-

вольно быстро устранить это опасное заболевание человека, свирепствовавшее в течение многих веков в Средней Азии. «В 1932 г., — пишет Константин Иванович, — последний больной, зараженный риштой, был вылечен, и с этого времени территория СССР является полностью освобожденной от этого гельминта».[5]

С КУРОПАТКОЙ В ОПЕРНЫЙ ТЕАТР

Но вернемся к нашему путешествию. Мы приехали наконец в Ташкент, где остановились на несколько дней для изучения распространенности глистной инвазии среди людей. Работали в морге одной из крупных больниц Ташкента. Но поскольку главной задачей экспедиции являлось изучение глистной инвазии позвоночных животных, я не буду останавливаться на этом. Скажу только, что подтвердилась большая зараженность гельминтами и людей.

В Ташкенте с нами произошел забавный случай. Однажды после работы мы с Татьяной осматривали город и подошли к оперному театру. В этот день шел «Евгений Онегин». Мы давно не слушали хорошей музыки, и тотчас же взяли два билета в партер. В нашем распоряжении оставалось три часа до начала спектакля. Решили вернуться в вагоны, пообедать и переодеться.

По пути неожиданно встретили Константина Ивановича, который нес живую каменную куропатку — кеклика. «Вы идете домой? — спросил он. — Тогда отнесите туда и эту птицу». Я взял куропатку, и мы направились к вокзалу. Придя на запасный путь, вагонов на месте не обнаружили. Оказалось, что вагоны в наше отсутствие ремонтировали и теперь отправили «на прокатку». Решили слушать оперу вместе с куропаткой. Но как пронести большую птицу мимо контролера? Завернули ее в газету и бечевкой привязали за лапку к моей руке. Теперь не улетит, думал я. Вполне благополучно миновали мы контролера, уселись на свои места, а кеклика посадили между собой. Сначала птица сидела беспокойно, но как только потух свет и началась интродукция, она затихла. Временами я осторожно поглаживал ее по головке. Вскоре она крепко спала даже в антракте. Музыка определенно действовала на нее усыпляюще. Поглощенный оперой, я перестал обращать на нее внимание. Наконец, мы услышали дуэт: «Враги! Давно ли друг от друга нас жажда крови отвела?». А вдруг они сейчас помиряться? — мечтал я, хотя отлично знал всю оперу наизусть. Знакомый страшный приказ: «Теперь сходитесь!» Здесь зал всегда замирает, сердца стучат сильнее... Выстрел... И вдруг — внезапный взлет нашей куропатки. Испуг наш и окружающих. Жуткое хлопанье крыльев. Птица сразу натянула бечевку и упала, хлопая крыльями. Вокруг зашипели и зашикали на нас. Я схватил птицу и усадил на старое место. Вот бешеная птица, думал я. Ужасно оскандалила нас перед всей публикой.

ГРИФ

Из Ташкента тронулись прямо на юг и через 80 км остановились на два дня на узловой станции Урсатьевская. Впереди красовалась цепь Тянь-Шаньских гор. Здесь наша среднеазиатская дорога повернула направо, строго на запад — к городам Каттакургану, Самарканду, Бухаре и другим, а влево железнодорожный путь направился строго на восток — к Душанбе.

Под палящим солнцем мы вдвоем с Кременским совершили поход за материалом, рассчитывая принести свойственных пустыне животных. И не ошиблись. Из-под ног часто выбегали ящерицы, которых мы тут же ловили. Из пернатых добыли несколько степных горлинок, удодов, сорокопутов и, наконец, что мы считали особой удачей, дрофу-красотку, другое наименование которой — джек-вихляй. Эта огромная птица на солнечном припеке лежит неподвижно, имея покровительственную окраску, и взлетает только тогда, когда на нее почти наступишь. В гельминтологическом отношении эта птица была совсем не изучена, поэтому она явилась ценным объектом для нашей экспедиции.

Наш поезд двинулся дальше. Натужно пыхтя, скрипя всеми колесами и швами, длинный состав медленно и тяжело тянулся по краю Каракумов. Жара была нестерпимая. Наилучшим местом для хорошего обозрения окружающей природы являлась крыша вагона, куда мы и залезли втроем: я, Татьяна и Кременский. Здесь во время хода поезда нас немного обдувало. Мы любили эти переезды, так как на стоянках всем здорово доставалось. Ежедневные многокилометровые походы за добычей, подготовка патронов, у меня — определе-

[5] Скрябин К. И. Роль ветеринарии в развитии животноводства и охране здоровья человека.— В кн.: Константин Иванович Скрябин. Жизнь и деятельность. М.: Наука, 1976, с. 227.

ние видов птиц — занимали целый день. С крыши хорошо просматривалась бесконечная линия телеграфных столбов, скрывающаяся за горизонтом. Вдруг мы заметили, что на одном из них сидит какая-то огромная птица. Я кинулся вниз за ружьем. Схватив ружье и пару патронов, выскочил в тамбур вагона. Зацепившись ногой за металлическую ручку и освободив обе руки, приготовился к выстрелу. Птица была уже близко. По мере приближения паровоза она стала беспокойно вытягивать шею и вертеть головой, но продолжала сидеть. Я замер и с волнением ждал нашего сближения. Рассмотрел эту потрясающе огромную птицу: это был серый гриф. Голая красная шея и белое красивое «жабо». Поравнявшись, я выстрелил. Распластав крылья, гриф медленно упал на землю. Но как теперь быть? Выручил наш проводник вагона: «Мы подъезжаем к станции Геок-Тепе, — крикнул он. — Задержите поезд, я принесу». Он схватился за поручень, оттянулся в сторону и, несколько секунд повисев так, спрыгнул. Поезд шел медленно. Наш проводник даже не упал, только качнулся, тормозя свое движение. Дальше я увидел, как он уже бежал в обратном направлении и скоро скрылся из глаз.

Проехав километра три, поезд остановился на станции. Сразу же все увидели высокую фигуру Константина Ивановича Скрябина, который спешил к начальнику станции, чтобы задержать поезд.

По обе стороны полотна дороги высыпали из теплушек пассажиры. Они с интересом смотрели назад. Показался человек, несший огромную птицу. Как выяснилось, гриф был легко ранен в кончик крыла и нашему проводнику пришлось вступить с ним в единоборство. Это был опасный противник. В этом мы убедились, увидев лицо и руки проводника. На щеке — рваная рана. Руки исцарапаны, глубокие следы от могучих когтей хищника. Пассажиры издавали возгласы одобрения и приветствия смельчаку. Птица не без труда общими усилиями была помещена в большую собачью клетку. Гриф сопровождал нас всюду во время экспедиции и через несколько месяцев вместе с нами здоровый и сильный прибыл в Москву.

Наконец приехали в Самарканд. Здесь мы встретили специальную комиссию из Петрограда по изучению стойкости мозаичных изразцов пятисотлетней давности. Поразила нас и теневая сторона жизни города — его антисанитария. Убой скота производился на открытой равнине между двумя холмами у окраины города. Каждый хозяин убивал свое животное здесь, кишечник выбрасывался, не зарывался в землю. Если же на печени или легком животного обнаруживались пузыри, хозяин выбрасывал и эти органы. Вокруг этого зловонного места сидели собаки, а на холмах — серые грифы, которые поминутно взлетали, наблюдая за разделкой туши и дожидаясь своего часа.

Мы убили здесь много собак, но, к сожалению, ни одного грифа, так как стреляли дробью (картечи не было), а они очень крепки на выстрел. Все обследованные нами собаки были поражены эхинококком.

Вечерами, когда наступали сумерки, на окраинах города раздавался вой шакалов. При лунном свете мы иногда видели их силуэты. Кроме того, здесь много и дикобразов. Однажды я полночи караулил одного у норы, но он так и не появился. А нор этих здесь было очень много.

ОТСТАЛИ ОТ ПОЕЗДА

Снова впереди большой город: подъезжаем к Бухаре. Наш поезд остановился на узловой станции Каган, от которой идет короткая ветка на Бухару. Мы находились сейчас в самом центре Средней Азии. Нас предупредили: стоянка 2 часа. Но длительное сиденье в вагоне всегда вызывает желание выйти на воздух, посмотреть поселок и окрестности. Мы заметили время и с Татьяной отправились на прогулку. Придя через час на станцию, узнали, что поезд наш уже ушел. Бросившись на вокзал, выяснили, что пассажирский поезд уже прошел, а следующий будет только через неделю. Ничего утешительного начальник станции нам сказать не мог. Поездов даже товарных не предвиделось. Расстроенные, мы уселись в тени на скамейке. Наступило обеденное время. Я ругал себя за допущенную неосторожность. Но было поздно. У меня в кармане лежала ассигнация в тысячу рублей. Я тотчас же ее использовал: купил «горячую лепешку», как ее называл станционный продавец. Она была выпечена из пресного теста, необыкновенно вкусна, но безобразно мала. Мы разделили ее пополам и мгновенно съели, оставшись голодными. У Татьяны денег вообще не оказалось. В экспедиции я, как орнитолог, получал 100 000 руб. зарплаты в месяц. Татьяна же, как прозектор,— 50 000 руб. А несколько месяцев спустя инфляция достигла угрожающих

размеров. Нам, современникам того периода, было особенно радостно видеть, как блестяще за короткий срок была ликвидирована инфляция в стране и созданы условия для стремительного роста благосостояния народа.

Мы сидели, не зная, что можно было бы в этих условиях предпринять. Наступил вечер. Ночь как-то сразу погрузила станцию в темноту. Зажглись яркие звезды. Но мы почему-то не унывали. Правда, скоро стало холодно. Я и раньше знал, что дни здесь в августе невыносимо жаркие, а ночи холодные.

В первом часу ночи вдруг подошел какой-то маленький сверхстарый паровозик с неприятно тонким свистом. Он тащил за собой 6 платформ, груженных камнем. Мы бросились к одной платформе и забрались в тамбур. Однако прошедший с фонарем железнодорожник немедленно нас прогнал. Тогда мы решили спрятаться в канаве около вагона, а как только поезд начнет трогаться, забраться на платформу. Тут нам повезло. Расчет оказался точным, и мы уселись на большом плоском камне.

У нас была тяжелая ночь. На ветру нам сразу сделалось холодно. А одеты мы были легко. Стуча зубами, сидели на открытом месте: укрыться было негде. Особенно холодно было под утро.

В семь часов утра мы подъезжали к станции Фараб, что на правом берегу Амударьи. В числе многочисленных стоящих на запасных путях поездов мы с радостью увидели и наш. У вагона нас встретили радостными восклицаниями наши друзья. Несказанно приятно было зайти в вагон и почувствовать себя наконец дома.

ВОЗВРАЩЕНИЕ

В городах во время стоянок мы знакомились с их достопримечательностями. Совершили экскурсии по Каттакургану, Самарканду, Бухаре, Чарджоу и Мерву. Осматривали мечети, медресе, гробницы, поражались искусству древних мастеров.

Побывали и на станции Байрам-Али, где посетили царский дворец, в котором в советское время был организован почечный санаторий. Этот район считается самым сухим в нашей стране. Здесь самое большое число ясных дней в году. Это — второй почечный санаторий в мире после Александрии.

Среди заброшенного парка возле каких-то развалин я поднял целую стаю фазанов. Это оказался другой вид — персидский фазан, отличающийся от туркестанского подвида менее яркой окраской самцов.

Далее мы остановились в самом глухом месте Каракумов — на станции Репетек. Здесь совсем нет воды. Ее привозят в больших вагонах-цистернах за сотню километров. Кругом бесконечные пески, песчаные барханы. Близ маленькой железнодорожной будки построена научная биологическая станция, сотрудники которой изучали фауну и флору пустыни. Мы добыли несколько саксаульских соек и впервые много индийских воробьев. Живущий здесь со своим внуком железнодорожный сторож ежедневно выливал в корыто немного воды, и сюда приходили пить джейраны и прилетали индийские воробьи.

Город Мерв был конечным пунктом нашего путешествия. Отсюда мы тронулись в обратный путь. Возвращаясь домой, вновь останавливались в наиболее добычливых местах для пополнения материала, например в полюбившемя нам Караузаке.

На станции Аральское Море неожиданно увидели, как все пассажиры с ведрами в руках побежали в противоположную сторону от моря к блестевшему серебром соленому озеру. Мы конечно тут же последовали их примеру и тоже притащили по ведру соли. Надо сказать, что тогда в Москве достать соль было очень трудно.

Итак, после многодневного обратного пути мы подъезжали к Москве. Это было в конце ноября. На станции Люберцы половина членов экспедиции не выдержала: оставила вагон и умчалась в Москву на дачном поезде — наш ведь тащился мучительно медленно. И вот мы в Москве. Матери и сестрам я привез ведро соли и четыре чарджоуйских дыни.

Значение 5-й гельминтологической экспедиции было чрезвычайно велико. Одних птиц мы исследовали 1218 экземпляров. В каждом из них мы находили паразитирующих червей, причем в большинстве случаев — представителей двух и даже трех разных классов, например нематод и цестод одновременно, а нередко к ним присоединялись и трематоды. Оценивая результаты экспедиции, К. И. Скрябин писал: «Мы привезли огромной ценности гельминтологический материал из Средней Азии, да притом в таком колоссальном количестве, что его обрабатывали и изучали свыше 20 лет»[6].

[6] Скрябин К. И. Моя жизнь в науке, с. 144.

Рифты — элементы саморазвития земной коры

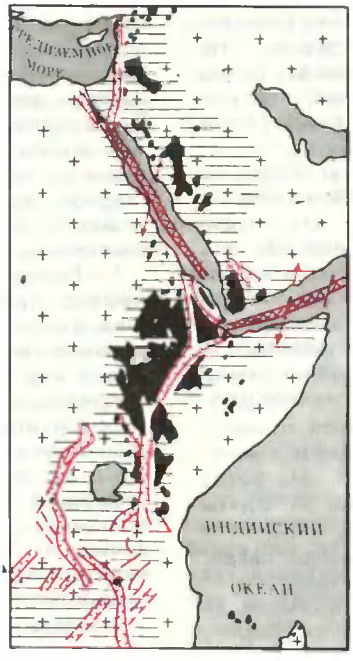
Е. С. Постельников
кандидат геолого-минералогических наук
Геологический институт АН СССР
Москва

Образование рифтов — линейных тектонических впадин — процесс, широко распространенный на земной поверхности. Хотя проблема рифтогенеза обсуждается уже на протяжении почти 200 лет, она остается одной из наиболее дискуссионных в современной геотектонике. В последние годы появились новые материалы, позволяющие оценить значение этого процесса и его роль в создании тектонической структуры литосферы.

На земной поверхности рифты образуют пояса, размеры и продолжительность формирования которых сильно разнятся. Например, один из крупнейших рифтовых поясов — Африканско-Аравийский — протягивается на 6 тыс. км. Он возник еще в конце мелового периода (около 70 млн лет назад) и продолжает активно развиваться.

Рифтовые пояса возникают обычно вдоль ослабленных зон земной коры — разломов или границ различных геотектонических элементов. Часто рифтовые пояса располагаются в сводах таких поднятий, где толщина земной коры невелика.

Рифтовые пояса подразделяют на внутриконтинентальные (Байкальский), межконтинентальные (Красноморский) и внутриокеанические, располагающиеся обычно в осевых частях срединно-океанических хребтов. Нередко пояса одной категории переходят в другую по простиранию. Ряд исследователей объединяют внутриокеанические рифты и расположенные на их продолжении континентальные рифтовые пояса в мировую рифтовую систему протяженностью более 60 000 км.



Африканско-Аравийский рифтовый пояс (по Е. Е. Милановскому, 1976). Для одного из грабенов этого пояса английский исследователь Дж. Грегори впервые предложил термин «рифт».

платформы с допалеозойским фундаментом

участки платформ, испытавшие сводовые поднятия в позднем кайнозое

позднекайнозойские континентальные рифты

позднекайнозойские межконтинентальные рифты и направления горизонтального расширения в них

крупнейшие разломы

мезозойские грабены

проявления кайнозойского вулканизма

Как под континентальными, так и под океаническими рифтовыми зонами вблизи раздела земная кора — мантия установлен слой глубинного вещества с аномальными физическими свойствами. Толщина его достигает нескольких десятков километров. Этот слой имеет нетипичные ни для коры, ни для мантии скорости прохождения сейсмических волн.

Приведем конкретный пример. Подробные исследования верхней мантии, выполненные в Байкальской рифтовой зоне, подтвердили ее двухслойное строение[1]. Верхний, аномальный слой мантии имеет низкую скорость продольных (7,6—7,8 км/с) и поперечных (4,3 км/с) сейсмических волн, а подстилающий его слой — нормальную для верхов мантии скорость (соответственно 8,1—8,2 км/с и 4,55 км/с). Максимальной толщины (30—50 км) аномальный слой достигает под крупными рифтовыми впадинами — Южно- и Северо-Байкальской. Под перемычками между впадинами он становится более тонким.

По совокупности геофизических параметров — скорости волн, плотности, электросопротивляемости, высоким значениям теплового потока в рифтах — происхождение аномального слоя чаще всего объясняют разогревом, частичным плавлением и локальным подъемом вещества верхней мантии. Важную роль, по-видимому, играют также гидротермальные преобразования вещества вблизи границы кора — мантия (например, серпентинизация[2] ульт-

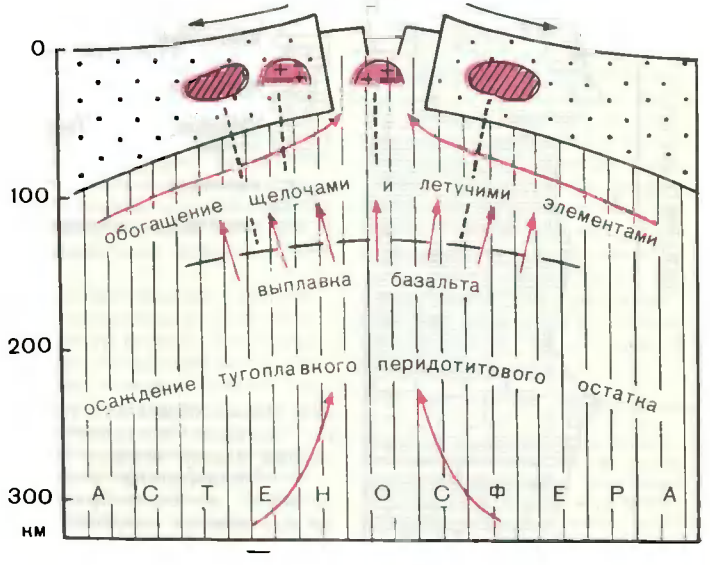
[1] Крылов С. В., Мишенькин Б. П. и др.— Геология и геофизика, 1979, № 5, с. 117.

[2] Серпентинизация — замещение серпентином ($Mg_3 \cdot [OH]_4Si_2O_5$) оливина, пироксенов и других минералов ультраосновных пород в условиях повышенного давления и $t \approx 500$—550°С.

раосновных пород; с ней могут быть связаны увеличение объема, уменьшение вязкости и скоростей прохождения сейсмических волн в верхней мантии). Аномальные мантийные выступы (диапиры) обнаружены геофизическими методами под всеми крупными современными рифтами. Обычно рифтообразование рассматривается как результат «растекания» этих мантийных диапиров, создающего в земной коре над ними условия растяжения.

Современные рифты, как правило, отчетливо выражены в рельефе и имеют ступенчатое строение. Это хорошо видно на поперечном профиле через подводную рифтовую долину Красного моря. Профиль составлен экспедицией Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР, детально исследовавшей Красноморский рифт с помощью подводного обитаемого аппарата «Пайсис». Экспедицией установлена средняя скорость раздвижения Красноморского рифта — 1,6 см в год за последние 2 млн лет[3].

Поскольку образование рифта обычно связывают с растяжением литосферы, рифтовые зоны по мере их изучения стали основой для возрождения мобилистских идей в геотектонике. Так, популярная концепция «новой глобальной тектоники» развивает гипотезу о конвективном подъеме мантийного вещества в осевых рифтах срединно-океанических хребтов и раздвижении дна океанов в стороны от них (спрединг)[4]. Представление о рифтовом процессе как о главном механизме образования структур с океаническим типом коры — вплоть до океанов — распространено очень широко[5]. Известна важная роль своеобразных рифтогенных структур — авлакогенов — и на континентах. Термин «авлакоген» (от греч. «бороздой рожденный») введен Н. С. Шатским для обозначения линейных впадин, ограниченных разломами, которые рассекают фундамент древних платформ. Авлакогены достигают сотен и тысяч километров в длину и десятков километров в ширину. Примеры крупных авлакогенов: на Восточно-Европейской платформе — Пачелмский и Припятско-Днепровско-Донецкий, включающий Донбасс; на Сибирской платформе — Вилюйский; на Южно-Американской — Амазонский и т. д. Возникновение авлакогенов обычно связано с начальным этапом образования платформенного чехла. Нередко они предшествуют развитию крупных плоских платформенных впадин — синеклиз, залегая в их основании (Московская, Балтийская и другие синеклизы).



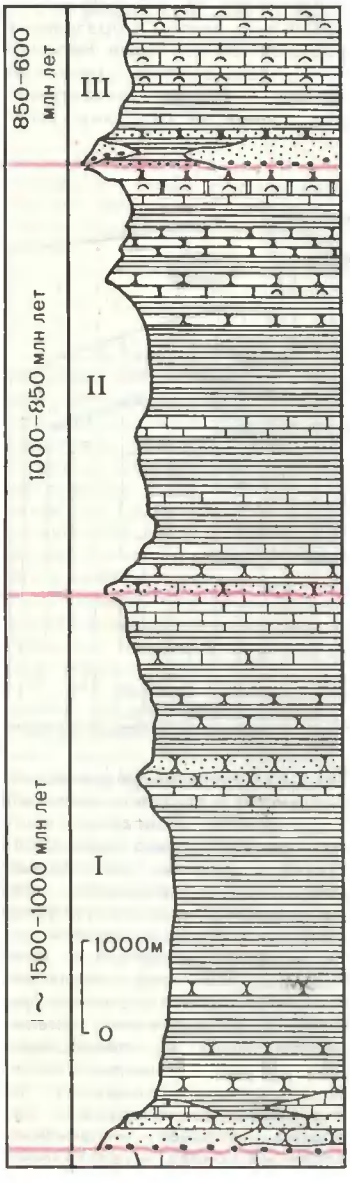
Модель мантийного диапира, приводящего к образованию рифтовой зоны (по Л. П. Зоненшайну и др., 1977, с дополнениями).

Менее исследован вопрос, как рифтогенез взаимодействует с другим планетарным тектоническим процессом, создающим континентальную (сиалическую) оболочку земной коры и, в конце концов,— континенты. Если рифтообразование направлено к утонению (до полного исчезновения) сиалической коры и способствует глубинному, преимущественно базальтовому, магматизму, то сиалеобразующий процесс, напротив, создает «гранитный слой» материков и генетически связан с приростом и перераспределением вещества земной коры путем накопления осадков литосферного кислого магматизма, метаморфических изменений пород, горизонтальных тектонических перемещений, складкообразования. Оба процесса неразрывно связаны друг с другом: подъем разогретого мантийного вещества обусловливает возникновение очагов внутрикорового магматизма; растяжения и опускания в рифтовых зонах усиливают перенос

[3] Монин А. С., Ястребов В. С. Экспедиция в Красное море.— Природа, 1980, № 9, с. 25.

[4] Зоненшайн Л. П., Городницкий А. М. Палеоокеаны и движение континентов.— Природа, 1976, № 11, с. 74.

[5] Казьмин В. Г. Рифты континентов — зародыши молодых океанов.— Природа, 1975, № 8, с. 94.



Циклическое строение разрезов рифейских пород на восточном склоне Енисейского кряжа. Каждый цикл (I, II, III) начинается отложением обломочных пород, а заканчивается отложением мелководных известняков, иногда песчаников.

обломочного материала, вызывают сжатие земной коры на соседних участках, образование гор и т. д. Взаимодействие между рифтогенезом и сиалеобразованием составляет сущность геосинклинального развития. Наиболее четко оно проявлено в рамках геосинклинальных циклов, включающих определенную последовательность явлений геосинклинального процесса, которая повторяется на разных этапах истории Земли.

Относительная роль рифтогенеза и сиалеобразования на протяжении каждого такого цикла неодинакова: в начале цикла преобладает погружение и растяжение, базальтоидный магматизм и т. д., в конце — общие поднятия, гранитообразование, явления метаморфизма, тектонического скучивания пород путем горизонтальных перемещений. Эта неравномерность (направленное развитие в пределах цикла) послужила основой для выделения стадий геосинклинального цикла и отражена в характеристиках и самих названиях стадий: начальная (рифтовая) — «раскрытие» рифтовых прогибов; раннегеосинклинальная (океаническая); позднегеосинклинальная (переходная); континентальная (орогенная)[6].

В работах, посвященных древнему (рифейскому — от 1800±100 млн лет до 600±±50 млн лет) геосинклинальному циклу Енисейского кряжа, автор данного сообщения показал, что этот геосинклинальный мегацикл включает, по крайней мере, три крупных цикла второго порядка. В начале каждого из них в обстановке растяжения, погружений, массового излияния базальтов формировались рифтовые структуры; средние части циклов характеризуются большим разнообразием осадочных и изверженных пород, максимальной структурной расчлененностью региона; в конце циклов происходило общее поднятие территории кряжа и создавались предпосылки для образования новых рифтов следующего цикла. Такое полициклическое строение особенно отчетливо выражено в осадочных разрезах восточного склона Енисейского кряжа, где можно выделить также циклы третьего порядка. Основанию и верхним частям циклов в этих разрезах соответствуют мелководные, часто пестроцветные грубообломочные и карбонатные отложения, а в средних частях преобладают относительно глубоководные черные сланцы и глинистые известняки. Наряду с указанной повторяемостью, в истории развития рифейской геосинклинали Енисейского кряжа отмечены необратимые явления. К ним относятся: направленное увеличение роли кислых и щелочных изверженных пород во времени; усложнение морфоструктуры геосинклинали от цикла к циклу; увеличение относительного количества обломочных и красноцветных отложений в разрезах второго и, в особенности, третьего циклов и т. д. Иными словами, в ходе рифейского геосинклинального развития территории Енисейского кряжа происходила трансформация коры океанического или «полуокеанического» (промежуточного) типа в кору сиалическую (континентальную). Этот сложный циклический процесс характерен для любых геосинклиналей любого возраста.

Таким образом, рифтогенез не только создает один из наиболее распространенных типов тектонических структур. Вза-

[6] Подробную характеристику этих стадий на конкретных примерах см.: Пейве А. В., Зоненшайн Л. П., Книппер А. Л. и др. Тектоника Северной Евразии. М.: Наука, 1980; Постельников Е. С. О циклическом развитии рифейской геосинклинали Енисейского кряжа.— В сб.: Проблемы тектоники земной коры. М.: Наука, 1981.

имодействуя с другими планетарными геологическими процессами, он выступает как необходимый атрибут саморазвития земной коры, имеющего необратимый возвратно-поступательный характер.

В геологическом развитии земной коры распределение рифтообразования было неравномерным. Его общепланетарные усиления приурочены к началу крупнейших мегациклов — протогея, дейтерогея и неогея, выделенных в истории Земли выдающимся немецким геологом Г. Штилле. Эти усиления соответствуют архейскому (древнее 2600 млн лет), позднепротерозойскому (1800—600 млн лет) и мезозойско-кайнозойскому (230 млн лет — настоящее время) этапам[7].

Рифтовые зоны — наиболее благоприятные объекты для изучения процессов взаимодействия земной коры и мантии. Для них типичны повышенные тепловой поток и сейсмичность, активные вулканизм и гидротермальная деятельность, высокая проницаемость для магматических, в том числе и мантийных, расплавов. Поднимающиеся по этим зонам глубинные флюиды (газообразные или жидкие растворы, нередко рудоносные) способствуют эволюции химизма, минерального состава, метаморфизму и прочим изменениям пород земной коры.

Богаты и разнообразны полезные ископаемые рифтовых зон. С рифтами как структурами повышенной проницаемости связаны рудные тела глубинного происхождения, состав которых различен на разных этапах рифтообразования. Так, комплексы мантийных ультраосновных пород ранних стадий развития палеорифтов Южной Сибири и многих других регионов вмещают месторождения кобальта, никеля, меди, платины, хрома. Залегающие выше подушечные лавы базальтов включают сульфидные залежи полиметаллов. С щелочным магматизмом поздних стадий развития этих рифтов связаны месторождения и рудопроявления фосфора, алюминия, тория, циркония, калийного сырья, флогопитов и т. д. Нередко наборы полезных ископаемых определяются не только стадийным развитием отдельных рифтовых зон, но и необратимой эволюцией магматизма рифтов в истории Земли. Например, на всех континентах мира большинство месторождений редких элементов связано с полями гранитных пегматитов[8] только протерозойского возраста, которые приурочены к авлакогенам древних платформ.

Происхождение ряда полезных ископаемых рифтогенных структур спорно. В крупных рифтовых зонах материков обнаружены мощные залежи каменной соли вместе с месторождениями нефти и газа. Последние, как правило, приурочены к подсолевым отложениям, так как соленосные формации — хорошие покрышки для нефтегазовых месторождений. В Днепровско-Донецкой впадине, например, все промышленные залежи нефти и газа приурочены к центральному рифтовому грабену. Обильные нефтепроявления отмечены среди передробленных докембрийских пород фундамента грабена. Крупнейшие скопления газа находятся здесь под соленосной толщей пермского возраста. На северо-западном продолжении Днепровско-Донецкой рифтовой зоны (в Припятском прогибе) значительные месторождения нефти перекрыты девонскими соленосными отложениями. Обычно накопление солей объясняют выпариванием морской воды, а образование нефтегазовых залежей — разложением органического вещества, содержащегося в осадочных отложениях. Однако часто наблюдаемая в рифтах ассоциация солей с вулканитами и пространственная связь их с разломами говорят о возможном глубинном происхождении, по крайней мере части, соли, поступившей в бассейн в виде ювенильных рассолов. Формирование нефтяных и газовых месторождений в рифтах также можно объяснять миграцией углеводородов по глубинным разломам из подкоровых зон[9].

В этой заметке я смог лишь кратко коснуться некоторых связанных с рифтогенезом проблем. Однако уже из сказанного ясно, что изучение глобального тектонического процесса рифтогенеза и связанного с ним породообразования является одной из важнейших задач как современной теоретической геотектоники, так и прикладной геологии.

[7] Милановский Е. Е. Основные этапы развития процессов рифтогенеза и их место в геологической истории Земли.— В сб.: Проблемы тектоники земной коры. М.: Наука, 1981.

[8] Пегматиты — обогащенные летучими веществами крупнокристаллические породы, залегающие в виде жил, гнезд, линз среди или вблизи материнских магматических пород, чаще всего гранитов.

[9] Созанский В. И. Нефтегазоносность, газоносность и соленосность рифтовых зон.— В сб.: Роль рифтогенеза в геологической истории Земли. Новосибирск: Наука, 1977.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РИФТОГЕНЕЗА. — Сб. статей. Новосибирск: Наука, 1977.

РОЛЬ РИФТОГЕНЕЗА В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИСТОРИИ ЗЕМЛИ. — Сб. статей. Новосибирск: Наука, 1977.

Зоненшайн Л. П., Монин А. С., Сорохтин О. Г. ТЕКТОНИКА КРАСНОМОРСКОГО РИФТА В РАЙОНЕ 18° С. Ш. — Геотектоника, 1981, № 2.

Постельников Е. С. О ЦИКЛИЧЕСКОМ РАЗВИТИИ РИФЕЙСКОЙ ГЕОСИНКЛИНАЛИ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА. — В сб.: Проблемы тектоники земной коры. М.: Наука, 1981.

Космические исследования

Запуски космических аппаратов в СССР (июль — август 1981 г.)

В июле — августе 1981 г. в Советском Союзе было запущено 28 космических аппаратов, в том числе 24 спутника серии «Космос» с научной аппаратурой, предназначенной для продолжения исследований космического пространства. На четырех спутниках этой серии («Космос-1280, -1283, -1284 и -1301») установлена научная аппаратура для исследования природных ресурсов Земли в интересах различных отраслей народного хозяйства СССР и международного сотрудничества. Информация поступает в Государственный научно-исследовательский и производственный центр «Природа».

На спутниках «Метеор — Природа» и «Интеркосмос — Болгария 1300» размещены два комплекса научной аппаратуры, созданных болгарскими специалистами при содействии советских специалистов по программе «Болгария 1300». Первый комплекс предназначен для дистанционного зондирования атмосферы и подстилающей поверхности в целях изучения природных ресурсов Земли, второй — для исследования физических процессов, происходящих в ионосфере и магнитосфере Земли[1].

Одновременно со спутником «Метеор — Природа» ракета-носитель вывела на орбиту с близкими параметрами малый спутник «Искра», созданный студенческим конструкторским бюро Московского авиационного института им. Орджоникидзе и предназначенный для изучения диффузионных и тепловых процессов в невесомости.

Очередной спутник связи серии «Радуга» (международный регистрационный индекс «Стационар-2») запущен на близкую к стационарной круговую орбиту. Помимо необходимых служебных систем на спутнике установлена ретрансляционная аппаратура для обеспечения в сантиметровом диапазоне волн непрерывной круглосуточной телефонно-телеграфной радиосвязи и одновременной передачи цветных и черно-белых программ Центрального телевидения СССР на сеть станций «Орбита».

Космический аппарат	Дата запуска	Параметры начальной орбиты			
		перигей, км	апогей, км	наклонение, град	период обращения, мин
«Космос-1279»	1.VII	218	385	70,4	90,3
«Космос-1280»	2.VII	222	312	82,3	89,5
«Космос-1281»	7.VII	208	419	72,8	90,4
«Метеор — Природа» «Искра»	10.VII	611	688	97,9	97,6
«Космос-1282»	15.VII	179	357	64,9	89,6
«Космос-1283»	17.VII	184	278	82,3	88,9
«Космос-1284»	29.VII	195	270	82,3	88,8
«Радуга»	31.VII	36 690	36 690	0,4	1 477
«Космос-1285»	4.VIII	630	40 165	62,8	726
«Космос-1286»	4.VIII	433	453	65	93,24
«Космос-1287-1294»	6.VIII	1 446	1 508	74	115,2
«Интеркосмос — «Болгария-1300»	7.VIII	825	906	81,2	101,9
«Космос-1295»	12.VIII	966	1 026	82,9	104,8
«Космос-1296»	13.VIII	181	377	67,2	89,8
«Космос-1297»	18.VIII	209	389	72,9	90,2
«Космос-1298»	21.VIII	179	351	64,9	89,5
«Космос-1299»	24.VIII	250	281	65	89,7
«Космос-1300»	25.VIII	648	675	82,5	97,7
«Космос-1301»	27.VIII	224	300	82,3	89,4
«Космос-1302»	28.VIII	783	824	74	100,8

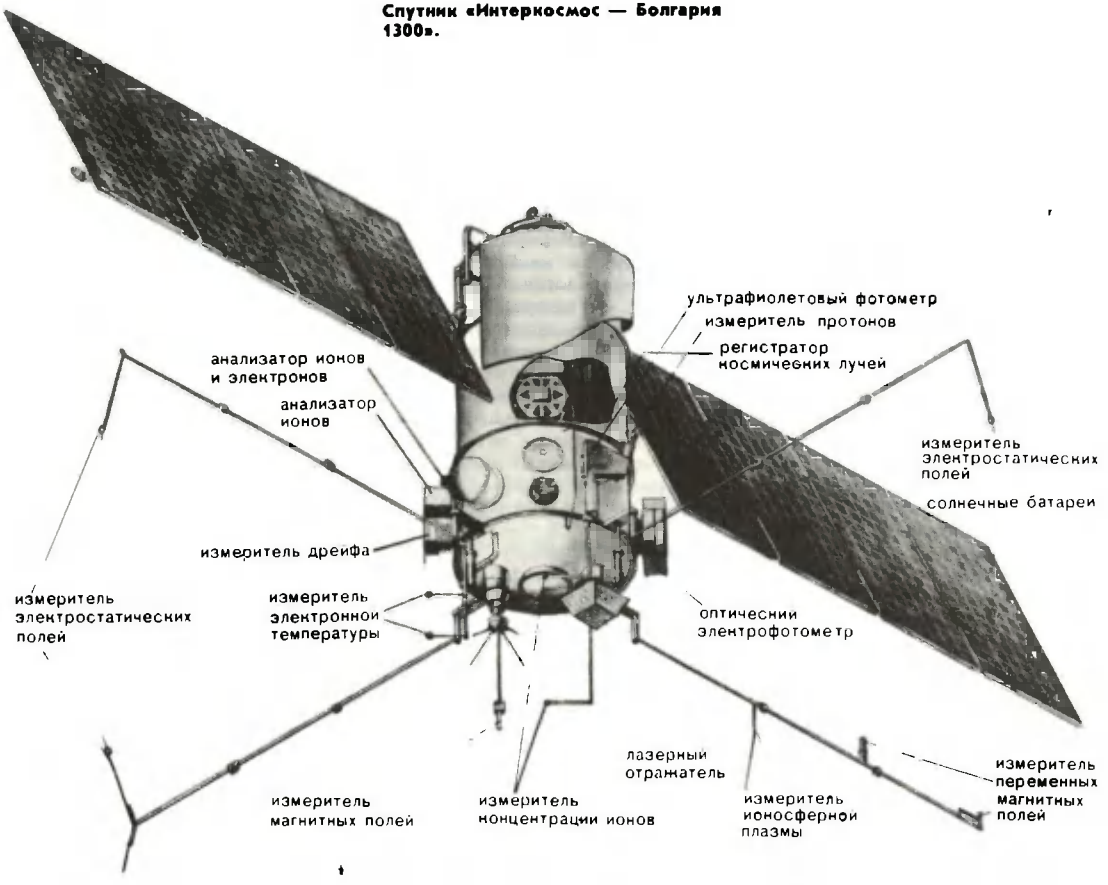
Космические исследования

Проект «Болгария 1300»

Многолетние совместные работы советских и болгарских специалистов в области космического приборостроения послужили основой проекта «Болгария 1300», названного так в честь 1300-летия болгарской государственности. В соответствии с этим проектом болгарские специалисты при содействии советских коллег создали два комплекса научной аппаратуры. Первый установлен на советском спутнике «Метеор — Природа» и предназначен для дистанционного зондирования атмосферы и поверхности Земли в целях изучения природных ресурсов; второй комплекс размещен на

[1] Подробнее о спутниках «Метеор — Природа» и «Интеркосмос — Болгария 1300» см. в этом номере с. 104.

Спутник «Интеркосмос — Болгария 1300».



спутнике «Интеркосмос — Болгария 1300» — 22-м интернациональном спутнике, запущенном в рамках программы «Интеркосмос». С помощью его научной аппаратуры предполагается продолжить исследования физических процессов в ионосфере и магнитосфере Земли для изучения механизма солнечно-земных связей.

Спутник «Метеор — Природа» был запущен 10 июля 1981 г. на геоцентрическую солнечно-синхронную орбиту. Помимо служебных бортовых систем на нем установлена советская и болгарская научная аппаратура. Советский комплекс приборов включает сканирующую телевизионную аппаратуру для получения изображений поверхности Земли и экспериментальный трехканальный микроволновый радиометр РМ-2. В составе телевизионной аппаратуры два многоспектральных сканирующих устройства: одно имеет разрешающую способность 800 м и четыре спектральных канала в диапазоне 500—1100 нм, другое — разрешающую способность 250 м и два спектральных канала в том же диапазоне длин волн. Радиометр РМ-2 работает на волнах 0,8; 1,35 и 1,6 см.

Комплекс болгарской научной аппаратуры включает: 32-канальный спектрометр, работающий в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра; одноканальный микроволновый радиометр РМ-1 (рабочая длина волны 4 см); вычислительную систему для регистрации и предварительной обработки информации.

Основная задача спутника «Метеор — Природа» — составление каталога спектральных «портретов» разнообразных природных образований при различных их состояниях. Эксперимент ведется синхронно на трех «этажах» исследований: в космосе, на специально оборудованном самолете-лаборатории АН-30 и с поверхности Земли на нескольких экспериментальных полигонах для детальных наземных исследований. Это позволит оценить и учесть искажения, которые вносит земная атмосфера в регистрируемую информацию.

Спутник «Интеркосмос — Болгария 1300» был запущен 7 августа 1981 г. на геоцентрическую орбиту. На нем установлена научная аппаратура, разработанная и изготовленная специалистами НРБ при содействии советских исследователей и предназначенная для комплексного изучения ионосферы и магнитосферы. По существу, эта зона — часть своеобразного гигантского солнечно-земного «моста», по которому все изменения в состоянии Солнца

передаются к нашей планете, оказывая громадное воздействие на геофизические процессы и биосферу Земли. С помощью аппаратуры спутника «Интеркосмос — Болгария 1300» предполагается, во-первых, получить информацию, которая позволит продвинуться в понимании механизма передачи солнечных возмущений Земле; во-вторых, путем прямых исследований околопланетной плазмы изучать процессы, которые невозможно пока воспроизвести в земных лабораториях.

На спутнике установлено 12 научных приборов, которые можно разделить на четыре группы. Первая включает семь приборов для регистрации электронов и ионов в околоземном пространстве, для определения их концентрации, температуры, распределения по энергиям, массам ионов, выявления движений ионосферной плазмы.

Во вторую группу входят прибор для измерения постоянных и квазипостоянных электростатических полей в диапазоне частот 0—1 Гц по трем взаимно перпендикулярным направлениям и трехкомпонентный магнитометр.

Третья группа содержит многоканальный оптический электрофотометр для определения слабых световых излучений верхней ионосферы, ультрафиолетовый фотометр «Фотон-1» для исследования временны́х и пространственных вариаций свечений земной атмосферы с длинами волн в диапазоне 120—250 нм.

Несколько особняком стоит уголковый лазерный отражатель. Он собран из пяти панелей, которые соединены в виде перевернутой пирамиды, смотрящей усеченной вершиной вниз, на Землю. Отражатель крепится на днище спутника; он позволит всем наземным станциям, имеющим лазерные локаторы, вести слежение за спутником, решая при этом целый ряд интересных геофизических задач.

Следует отметить важные преимущества экспериментальной программы спутника «Интеркосмос — Болгария 1300» по сравнению с ранее реализованными аналогичными программами: одновременная работа такого широкого и оригинального комплекса геофизических приборов ранее не осуществлялась; измерения проводятся в период повышенной активности Солнца; приполярная орбита спутника с высотой в апогее около 900 км позволит регистрировать явления, типичные как для ионосферы, так и для магнитосферы Земли, а также изучать наиболее интересные физические процессы, протекающие на границе полярных зон; высокая точность ориентации спутника, около 1°, даст возможность получить качественно новые данные.

С. А. Никитин

Москва

Астрономия

Комета на орбите вокруг Сатурна

Как показали недавние наблюдения «Вояджера-1», самое внешнее кольцо Сатурна — кольцо F — состоит из нескольких светлых непрерывных нитей, которые местами переплетаются, утолщаются или искривляются[1].

В. Д. Давыдов (Институт космических исследований АН СССР) предложил гипотезу, объясняющую природу этого кольца: на круговой орбите вокруг Сатурна движется «дымящий» (т. е. обильно выделяющий микрочастицы) спутник малых размеров с массой 10^{15} кг; скорость удаления частиц от спутника намного меньше его орбитальной скорости, поэтому орбиты всех микрочастиц заключены в узком тоннеле, осью которого служит орбита спутника.

Периоды обращения частиц, выброшенных в направлении орбитального движения спутника, отличаются от периодов обращения частиц, выброшенных назад. Поэтому, когда через некоторое время потоки обгоняющих и отстающих частиц, распространяясь вдоль орбиты спутника, подойдут к месту встречи, обе ветви — лидирующая и отстающая — не сомкнутся. Они будут вытягиваться вдоль орбиты и снова сойдутся к спутнику, потому что каждая частица, обогнав его (или отстав от него) на один виток, возвращается в окрестности исходной точки. Но частицы не попадают обратно на спутник, поскольку его диаметр значительно меньше толщины потока частиц и, кроме того, различные участки потока подвергаются неодинаковым воздействиям в гравитационном поле других спутников Сатурна.

В результате этого образуется двойной, а при дальнейшем растяжении нити потока — и более сложный шнур, состоящий из нескольких витков одной непрерывной нити. Узор нити напоминает моток из нескольких витков проволоки, собранной в жгут.

Согласно расчетам, по мере удаления частиц от спутника светлая нить может становиться менее яркой, яркость второго витка нити должна быть меньше яркости первого. И действительно, на снимках кольца, переданных «Вояджером-1», можно различить три нити — яркую, слабую и едва заметную.

По-видимому, «дымящее» тело имеет кометную природу, но, в отличие от кометы, движется по планетоцентрической орбите вокруг Сатурна. Известно, что по мере приближения кометы к Солнцу вокруг ее ядра начинает расти диффузная оболочка — кома, но будет ли ядро кометы «дымить» на расстоянии 9,54 а. е. от Солнца? Согласно современным исследованиям, ядро кометы выделяет твердые частицы размером 0,01 см и более на гелиоцентрических расстояниях от 5 до 15 а. е.

Могло ли образоваться ядро кометы на орбите вокруг Сатурна? Гипотеза Шмидта допускает формирование спутников непосредственно на планетоцентрических орбитах. Чтобы эти спутники получили в изобилии летучие вещества, свойственные кометам, на ста-

[1] Подробнее об этом см.: Бурба Г. А. «Вояджер-1» в мире Сатурна.— Природа, 1981, № 6, с. 92.

дии аккумуляции летучих веществ остатки первичного пылевого облака должны были полностью заслонить систему Сатурна от Солнца.

В рамках кометной гипотезы, по мнению Давыдова, находят объяснения наблюдаемые свойства не только кольца F, но и всей системы колец Сатурна, а также природа узких и резких колец Урана и диффузного кольца Юпитера.

Космические исследования 1981, т. XIX, № 3, с. 436—453.

Селенология

Аргон у поверхности Луны

Масс-спектрометры станции «Аполлон-17» за 9 месяцев работы в Море Ясности на Луне зафиксировали четыре «выхлопа» ^{40}Ar — продукта распада радиоактивного ^{40}K — в количестве 10^{27}—10^{28} молекул. Как указал А. Биндер (ФРГ), в трех случаях это истечение газа следовало непосредственно за мелкофокусными лунотрясениями — крайне редкими, но достаточно интенсивными проявлениями лунной тектонической активности.

Отсюда Биндер сделал вывод о связи наблюдаемых явлений, проверив его на примере лунотрясения 13 марта 1973 г. (энергия $2 \cdot 10^{10}$ Дж). Исходя из содержания калия в лунных образцах, периода полураспада ^{40}K (1,28 млрд лет) и возраста континентальных пород Луны (4 млрд лет), Биндер рассчитал, что каждый кубический сантиметр породы содержит $4 \cdot 10^6$ молекул ^{40}Ar. Однако хватит ли энергии мелкофокусного лунотрясения для выделения зафиксированного в Море Ясности количества аргона?

Земной опыт свидетельствует, что на сейсмический толчок идет лишь 1% накопленной механической энергии деформации пород. Остальная энергия расходуется на тектонические передвижения и разогрев пород. Термометры, помещенные в скважине на станции «Аполлон-17», показали, что поток тепла из лунной коры составляет $7 \cdot 10^2$ Дж/с на каждый грамм породы. Следовательно, энергии, накопленной в очаге лунотрясения, должно хватить для разогрева до температуры плавления 1000 т породы, и из нее выделится не менее 10^{25} молекул ^{40}Ar.

Другая оценка получена Биндером на основе анализа напряжений, возникающих в очаге лунотрясения. На глубине 4 км давление составляет 3—3,5 тыс. атм., так что в объеме, ответственном за сейсмический толчок (10^8—10^{11} м^3), накопится 10^{14}—10^{17} Дж энергии упругой деформации. Расходуется эта энергия постепенно, на серию толчков; при одном толчке может выделиться до $6 \cdot 10^{26}$ молекул ^{40}Ar. Сходная оценка — $3 \cdot 10^{27}$ молекул ^{40}Ar — была получена при расчете формы и размеров очага лунотрясения (максимальный диаметр 150 м; толщина частично расплавленного слоя 1 м; объем, из которого выделяется газ, $7 \cdot 10^4$ м^3). И, наконец, последняя оценка: очередной сейсмический толчок происходит лишь в некоторой зоне не заживающего до конца разлома; сколько именно лунотрясений рождает один разлом — неясно, но даже в случае одного лунотрясения выделится не больше $2 \cdot 10^{28}$ молекул ^{40}Ar.

Совпадение всех оценок с наблюдениями позволяет считать, что радиоактивный аргон выделяется при разогреве пород за счет трения, возникающего в ходе резкого движения по разлому в очаге лунотрясения. Так как очаг располагается неглубоко, газ достигает поверхности, рождая едва заметное «дыхание» остывающей Луны.

Geophysical Research Letters, 1980, v. 7, № 11, p. 1011—1013 (США).

Физика

Запаздывающая трехнейтронная активность ядер ^{11}Li

На масс-сепараторе «Изольда» в ЦЕРНе (Швейцария) получено немало интересных сведений о свойствах атомных ядер, удаленных от так называемой линии β-стабильность[1], т. е. ядер с необычным соотношением числа нейтронов и протонов. Недавно при изучении ядер с избыточным содержанием нейтронов был открыт новый тип радиоактивного распада — запаздывающее испускание ядром трех нейтронов. Как и обнаруженное год назад той же группой исследователей запаздывающее испускание двух нейтронов[2], новое явление наблюдалось при β-распаде короткоживущего (период полураспада 8,6±0,2 мс) изотопа ^{11}Li.

Ядро ^{11}Li очень удобно для подобных наблюдений: в результате β-распада оно превращается в ядро ^{11}Be, которое и испускает запаздывающие нейтроны. В большинстве случаев ^{11}Be распадается, испуская один нейтрон. Энергетический порог распада ^{11}Be на три нейтрона и ядро ^{8}Be составляет 8,979 МэВ, а на 3 нейтрона и две α-частицы — чуть меньше, 8,888 МэВ; поэтому распад с испусканием трех нейтронов может идти лишь через высоко лежащие состояния ^{11}Be. Распад может идти также через так называемые хвосты резонансных состояний большой ширины: ^{11}Be (это, в частности, состояние с энергией 8,84 МэВ, распадающееся с выбросом двух нейтронов) и ^{9}Be, первое возбужденное состояние которого с энергией 1,68 МэВ (что составляет 8,995 МэВ относительно основного состояния ^{11}Be) распадается с выбросом одного нейтрона.

Для получения изотопов ^{11}Li мишень из карбида урана при температуре 2000°С бомбардировалась пучком протонов с энергией 600 МэВ и током 0,2—2 мкА. Затем ионы ^{11}Li отделялись от других продуктов реакции на масс-сепараторе «Изольда» и в виде пучка

[1] Подробнее о β-стабильности см., например: Оганесян Ю. Ц. На пути к сверхтяжелым.— Природа, 1977, № 6, с. 8.

[2] Гапонов Ю. В. Запаздывающая двухнейтронная активность ядер.— Природа, 1980, № 9, с. 110.

направлялись в парафиновый счетчик, представляющий собой 12 пропорциональных ^{3}He-счетчиков, соединенных параллельно и подключенных к микропроцессору, дифференцировавшему сигналы по времени пролета. Высокая эффективность и быстродействие аппаратуры позволили исключить вклад случайных совпадений от одновременных распадов с испусканием двух и одного нейтронов, которые «симулировали» трехнейтронный распад.

Как показала обработка экспериментальных данных, число ядер ^{11}Li, распадающихся с испусканием нейтронов, составляет (95±8)% от общего числа этих ядер, участвующих в реакции; при этом (82±7)% из них распадается с испусканием одного нейтрона, (3,9±0,5)% — с испусканием двух нейтронов, а (1,8±0,2)% — с испусканием трех нейтронов.

Интересно отметить, что из-за крайней нестабильности ядра ^{8}Be, получающегося после вылета трех нейтронов (оно тут же распадается на две α-частицы), в эксперименте, по существу, наблюдался развал ядра на 5 ядерных частиц: $3n+2\alpha$.

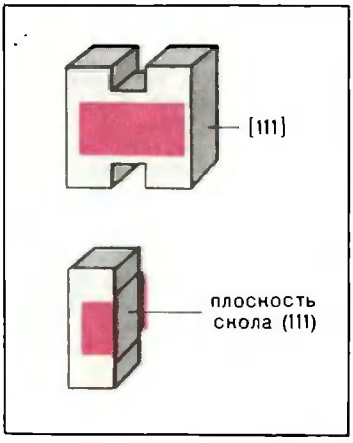
Physics Letters, 1980, v. 96B, № 1, 2, p. 31—34 (Нидерланды).

Физика

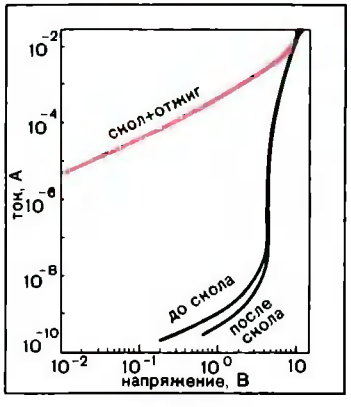
Электронные явления на поверхности германия

В последнее время заметно возрос интерес к изучению явлений, происходящих на поверхности твердых тел. Б. М. Вул, Э. И. Заварицкая и Е. Г. Сокол (Физический институт им. П. Н. Лебедева АН СССР) исследовали чистые поверхности германия, получаемые в результате скола кристаллов в жидком гелии. Поскольку гелий обладает высокой химической инертностью, а все примеси при гелиевых температурах вымерзают, такой способ позволяет практически полностью исключить влияние внешней среды на поверхностные свойства кристаллов.

Образцы вырезались в виде пластинок площадью около 1 см^2 и толщиной 1—4 мм. Скол осуществлялся с помощью ножей из плавленого кварца или из твердых металлических сплавов и давал обычно зеркально гладкие поверхности.



Форма германиевых образцов до скола (вверху) и после скола (внизу). Электроды из вплавленного индия выделены цветом. Их конфигурация может быть более сложной — в зависимости от измеряемого в опыте параметра образца.



Типичная вольт-амперная характеристика германиевого образца при T=4,2 К.

Измерения электропроводности и постоянной Холла показали, что, независимо от типа концентрации электрически активных примесей (которая менялась от 10^{13} до $5 \cdot 10^{15}$ см$^{-3}$ в разных образцах), приповерхностный слой обладал проводимостью дырочного типа при концентрации дырок $(6\pm10) \cdot 10^{12}$ см$^{-2}$ и их подвижности (400—250) см^2/В · с. Существенно, что непосредственно после скола поверхностная электропроводность оказывалась так мала, что при гелиевых температурах не проявлялась на фоне объемной проводимости германия. Поверхностная проводимость порядка $4 \cdot 10^{-4}$ Ом$^{-1}$ устанавливалась лишь после промежуточного нагрева образца в парах гелия при температуре $T < 40$ К.

Авторы считают, что наблюдавшиеся в этих экспериментах закономерности можно объяснить тем, что при сколе кристалла в жидком гелии валентные электроны устремляются на образовавшуюся поверхность и закрепляются там на оборванных при сколе валентных связях. Этот процесс продолжается до накопления на поверхности кристалла такой плотности отрицательного заряда, что из-за отталкивания дальнейший переход электронов на поверхность оказывается невозможным. При этом эффективная толщина приповерхностного слоя образовавшихся дырок составляет, согласно расчетам, около 4 нм. При сколе кристалла, по мнению авторов, в приповерхностном слое возникают структурные дефекты, которые замораживаются в жидком гелии и препятствуют движению дырок. Промежуточный нагрев в парах гелия приводит к отжигу дефектов, т. е. к упорядочению структуры кристалла, что и позволяет наблюдать электропроводность образовавшейся поверхности.

ЖЭТФ, 1981, т. 80, вып. 4, с. 1639.

Физика

«Кинжальное» плавление металла

При обработке металлов с помощью лазерного луча возможно начиная с некоторого значения интенсивности излучения так называемое «кинжаль-

ное» плавление, характеризуемое большим отношением глубины получаемого канала к его диаметру. Эффект достигается за счет того, что поверхность расплава деформируется под воздействием реактивного давления паров материала, при этом нагрев глубинных слоев усиливается, а нагрев стенок канала уменьшается.

Ф. В. Бункин, Н. А. Кириченко и Б. С. Лукьянчук (Физический институт им. П. Н. Лебедева АН СССР) исследовали особенности кинжального плавления при обработке металла движущимся источником излучения, что характерно для таких применений, как резка, сварка и т. п. Им удалось показать, что режим кинжального плавления может быть осуществлен даже при довольно высоких скоростях движения лазерного луча, порядка десятков сантиметров в секунду.

Квантовая электроника, 1981, т. 8, № 2, с. 448—451.

Физика

Лазер печатает с помощью ЭВМ

Американская фирма «Хьюллет-Паккард» начала выпуск лазерного печатающего устройства средней скорости. Оснащенное гелий-неоновым лазером мощностью 5 мВт и печатающее текст со скоростью 45 страниц в минуту, оно предназначено для работы с миниЭВМ. Это первое лазерное печатающее устройство такого рода, хотя в настоящее время имеются более быстродействующие модели фирм «Ай-Би-Эм» и «Ксерокс», предназначенные для работы с большими ЭВМ, а также более дешевые модели для использования в почтовом деле.

Последовательность импульсов из ЭВМ в станке управляет акустооптической ячейкой, которая модулирует лазерный луч с частотой ~ 6 МГц. Луч перемещается по фоточувствительной мембране с помощью зеркального многогранника. Полученное изображение переносится на бумагу обычными методами электростатической печати.

Лазер в качестве печатающего элемента выбран из-за высокого качества печати и удобства в использовании. Так, каждый лазерный станок снабжен набором программ, позволяющих варьировать тип шрифта, его размер и даже печатать подписи под иллюстрациями. Пока это единственное печатающее устройство, допускающее столь широкое программирование.

Laser Focus, 1981, v. 17, № 2, p. 44 (США).

Молекулярная биология

Побочные эффекты генной инженерии

В настоящее время существует ряд методов пересадки генов из одной клетки в другую. Такие возможности генной инженерии породили ряд интересных идей лечения некоторых генетически обусловленных заболеваний (например, β-талассемии — болезни крови, связанной с нарушением структуры гемоглобина эритроцитов). Путем пересадки генов можно заменить в ряде клеток «плохие гены», обусловливающие развитие заболеваний, на «хорошие», взятые из нормальных клеток. Однако при этом следует обращать самое серьезное внимание на то, как влияют такие манипуляции на генетический аппарат клеток.

Недавно Диана Роббинс с сотрудниками (Институт изучения рака Колумбийского университета, США) провели такой опыт: ввели в хромосомы клеток печени крыс ген человеческого гормона роста. Выбор именно этого гена среди некоторых генов хромосомного аппарата человека, которые научились пересаживать, обусловлен тем, что он сравнительно легко входит в ДНК чужеродной клетки и его действие достаточно четко выражено. Кроме того, сравнительно просто определить место его фиксации в хромосомах клеток нового хозяина.

Результат опыта оказался весьма настораживающим: в хромосомах клеток, куда был пересажен ген гормона роста, обнаружены тяжелые аномалии, способные привести к серьезным нарушениям в жизнедеятельности клетки.

Таким образом, при пересадке генов возможно нарушение функций хромосом, поэтому исследования коллектива Д. Роббинс вновь со всей серьезностью ставят вопрос о необходимости очень осторожного подхода к методам генной инженерии, в особенности, если они применяются в медицинских целях.

Cell, 1981, v. 23, p. 29—39 (США).

Биология

Архибактерии и эволюция живых организмов

Существует группа организмов (архибактерии), которая располагается где-то посредине между про- и эвкариотами. К ним относят 4 группы микроорганизмов: бактерии, вырабатывающие метан; галофильные микроорганизмы, обитающие в среде с высоким содержанием соли; и два рода так называемых термоацидофильных микроорганизмов: Sulfolobus и Thermoplasma. Несмотря на кажущееся сходство с истинными бактериями, архибактерии отличаются от них строением рибосомных РНК, особенностями модификации транспортных РНК, набором синтезируемых в клетке липидов, строением РНК-полимеразы.

М. Кессель и Ф. Клини (Университет г. Киля, ФРГ)[1] проверили способность так называемого фактора элонгации белкового синтеза из архибактерий изменяться под воздействием дифтерийного токсина. Известно, что факторы элонгации эвкариотического происхождения способны изменяться под воздействием токсина, а прокариотические факторы — не способны. Западногерманские исследователи установили, что факторы элонгации из четырех представителей архибактерий модифицируются токсином, приближаясь по этому свойству к эвкариотическим факторам.

Кроме того, К. Вуз и

[1] Nature, 1980, v. 287, p. 250.

Р. Гупта (Университет штата Иллинойс, США), исследуя архибактерии, пришли к выводу, что детали многих биохимических процессов, протекающих в клетках архибактерий, существенно отличаются от характерных особенностей этих процессов у истинных бактерий [2].

Вполне вероятно, что архибактерии и истинные бактерии произошли от общего предшественника[3]. Но на какой стадии произошло отделение «ветви» архибактерий? Пока однозначного ответа на этот вопрос дать нельзя, однако уже сейчас очевидно, что изучение архибактерий весьма многообещающе для понимания ранних этапов эволюции живых существ.

А. П. Сургучев,
кандидат биологических наук
Москва

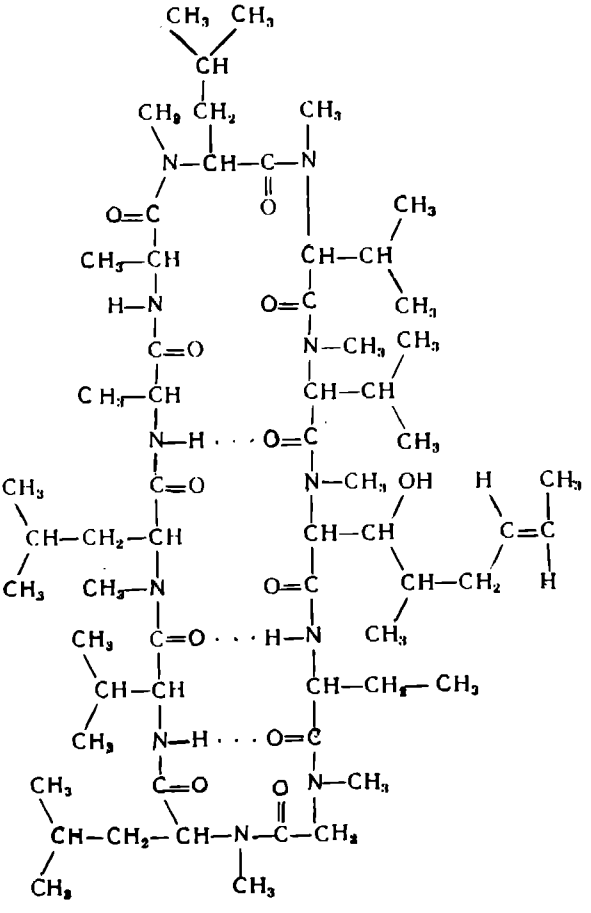
Биохимия

Циклоспорин А при пересадках органов и тканей

Как известно, единственный способ уберечь от отторжения пересаженный трансплантат (сердце, почки, печень, кожу и т. д.) заключается в подавлении иммунной системы организма реципиента. Однако не все клетки иммунной системы борются с трансплантатом одинаково; главным «врагом» являются Т-лимфоциты, поэтому необходимо подавить активность именно этих клеток.

15 лет назад с этой целью стали использовать большие дозы рентгеновского излучения. Выработка лимфоцитов приостанавливалась на весьма длительный промежуток времени — иногда до 10 лет и более, однако эта процедура лишала организм иммунологической защиты против инфекционных заболеваний, так как подавлялись не только Т-лимфоциты, но и другие клетки иммунной системы, в том числе В-лимфоциты, ответственные за выработку специфических антител.

Более щадящим и точнее направленным способом подавления иммунных реакций против трансплантатов служит применение антилимфоцитарной сыворотки, действие которой было впервые изучено еще в 1960 г. Но и этот метод снижает иммунологическую сопротивляемость организма, а также вызывает аллергические реакции.



Структурная формула циклоспорина А.

В 1972 г. в фармацевтической фирме «Сандоз» (Базель, Швейцария) был открыт антибиотик — циклоспорин А. Он является продуктом метаболизма гриба Trichoderma polysporum Rifai и представляет собой циклический полипептид, состоящий из 11 аминокислот.

При изучении свойств циклоспорина А обнаружилось, что он подавляет активность Т-лимфоцитов, направленную против антигенов пересаженных тканей, и не оказывает влияния на В-лимфоциты иммунной системы. Были проведены испытания этого антибиотика в ряде клиник Европы и США[1]. Он использовался при пересадке почек, печени и поджелудочной железы в общей сложности у 123 больных. Его применение позволило сократить вчетверо сроки пребывания больных в клинике. Важно отметить, что при этом удалось совсем избавиться или сократить в 5—10 раз применение кортикостероидных гормонов, которые обычно используются при пересадках и обладают способностью подавлять иммунные реакции.

Nature, 1981, v. 289, p. 95.
[3] Science, 1980, v. 209, p. 457.

[1] Calne R. G.— Transplant. Proc., 1980, v. 12, № 2, p. 239; Starzl T. E. et al.— Surg., Gynecol. and Obstetr., 1980, v. 151, № 1, p. 17; Arch. Surg., 1980, v. 115, № 7, p. 815.

В экспериментах на животных циклоспорин А был успешно испытан при пересадках сердца и даже легких.

Точный механизм действия этого лекарства пока неизвестен. Однако уже предварительные результаты свидетельствуют о его высокой активности.

Г. Д. Кобринский,
доктор медицинских наук
Москва

Биохимия

Лечение опухолей иммунотоксинами

Главная проблема противораковой химиотерапии — отсутствие избирательного действия противоопухолевых препаратов: введенные в организм, они тормозят рост не только злокачественных, но и здоровых клеток. Поэтому специалисты пытались увеличить селективность таких лекарств путем соединения их с антителами, воздействующими непосредственно на антигены поверхности злокачественных клеток. Однако введение таких комплексов в организм оказалось малоэффективным из-за невозможности получить достаточное количество необходимых антител.

В последние годы антитела стали получать с помощью гибридом[1]. Появились методы, позволяющие химически соединять антитела с рядом бактериальных и растительных ядов, обладающих очень высокой токсичностью к живым клеткам: одна клетка может быть убита одной молекулой такого яда. К ним относятся, например, дифтерийный токсин, абрин, рицин и ряд других родственных им соединений. Причем полученные комплексы почти не теряли характерных особенностей как антител, так и токсинов. Такие иммунотоксины были испытаны против антигенов поверхности злокачественных клеток. Работы проводились главным образом с дифтерийным токсином, который состоит из двух полипептидных цепей, соединенных между собой дисульфидными мостиками. Одна из цепей — цепь В — способна связываться с определенными группами молекул клеточной поверхности. Другая — цепь А — энзиматически активна: она может проникать внутрь клетки и тормозить синтез белка. Удалось привязать дифтерийный токсин к антилимфоцитарным антителам. Полученный комплекс оказался высокотоксичным по отношению к культивируемым злокачественным лимфобластоидным клеткам человека. Против культивируемых клеток мышиной лейкемии L-1012 оказался эффективен комплекс, токсическая часть которого состояла из А-цепи дифтерийного токсина [2].

Недавно группа исследователей под руководством Х. Е. Блитмана (Центр клинических исследований, Монпелье, Франция) использовала иммунотоксин для лечения мышей, больных лейкемией WEHI-7. Антитела против антигена Thy-1.2, присутствующего на поверхности клеток мышиной лейкемии, были соединены с А-цепями рицина. Полученный иммунотоксин содержал в среднем 8 А-цепей рицина на 1 молекулу антитела.

Его действие было вначале испытано на культивируемых клетках WEHI-7. Противоопухолевая эффективность иммунотоксина в 5000 раз превосходила эффективность действия свободных А-цепей рицина, но была в 25 раз слабее действия цельной молекулы этого яда. Таким образом, использование одних антител было малоэффективным.

Затем злокачественные клетки WEHI-7 были введены в брюшную полость мышам. После этого животным ежедневно в течение 7 дней в брюшную полость вводили по 30 мг иммунотоксина (первый раз — через час после введения злокачественных клеток). Оказалось, что лечение иммунотоксином продлевало жизнь зараженных животных. Так, в контрольной группе мышей 50% животных погибли через 35 дней, а в группе, получавшей иммунотоксин, — через 44 дня.

Nature, 1981, v. 290, № 5802, p. 145—146 (Великобритания).

[1] Природа, 1980, № 11, с. 111; 1981, № 6, с. 112.

[2] Nature, 1978, v. 271, p. 752; Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1980, v. 77, p. 5419.

Медицина

Селекция противоопухолевых препаратов

Существует около 30 химических соединений, используемых для терапии опухолей. Все они, как правило, активны против опухолевых клеток, находящихся в стадии деления. К сожалению, эти вещества способны тормозить деление и нормальных клеток, таких, например, как клетки костного мозга, эпителия и др. Поэтому исследователи давно пытались синтезировать противоопухолевые лекарства, обладающие избирательной токсичностью по отношению к опухолевым клеткам. При этом необходимо разработать способы предварительного испытания таких препаратов, так как применяющиеся для этой цели методы весьма несовершенны.

Недавно С. Е. Салмон и его коллеги из Туксона (США) предложили весьма удобный способ тестирования таких веществ на культурах опухолевых клеток: он позволяет получить химиограмму действия испытуемых лекарств на клетки опухолей, подобно тому как получают антибиограмму на микробных клетках для выяснения активности антибиотиков.

Хорошо известно, что клетки опухолей неоднородны; среди них имеются и так называемые штаммовые клетки, которые ответственны за развитие метастазов. Группа Салмона научилась культивировать такие клетки на среде, в состав которой входит полужидкая агароза. Клетки растут на поверхности среды, что делает количественный контроль за их ростом весьма удобным и простым по сравнению с существующими методами. Пользуясь предложенной методикой, можно получать на такой среде клеточный клон, т. е. потомство одной-единственной клетки, сохраняющее индивидуальные особенности клетки-прародительницы.

Для испытаний берут свежую опухоль, полученную после хирургической операции, и измельчают ее так, чтобы не повредить жизнеспособности клеток. Часть полученных таким образом клеток помещают в

среду с полужидкой агарозой, которая служит контролем, а другую выдерживают определенное время в присутствии испытуемого лекарства, после чего эти клетки также помещают в среду с агарозой. Если лекарство по отношению к клеткам активно, то оно убьет все клетки или часть из них и они на агарозе не вырастут или вырастут в меньших количествах. Если лекарство неактивно, то рост клеток будет такой же, как в контроле.

Интересные результаты были получены при испытании этим методом миеломы, меланомы и опухолей яичника. Если злокачественные клетки чувствительны к действию лекарств in vitro, то в 62% случаев такие опухоли поддаются действию этих лекарств и in vivo. Если же клетки in vitro к действию лекарств устойчивы, то опухоли, из которых эти клетки получены, в 96% случаев не поддаются действию этих лекарств.

Данные группы Салмона были подтверждены и другими исследователями. Несмотря на сложность культивирования клеток на агарозе, можно надеяться, что в ближайшем будущем предлагаемый метод позволит селектировать новые лекарственные вещества для борьбы с опухолями и улучшить тем самым противораковую терапию.

Cancer, 1981, v. 2, № 9, p. 33 (США).

Медицина

Новый способ опухолевой терапии

В последние годы группа сотрудников из Первого Московского медицинского института им. И. М. Сеченова, Всесоюзного научного центра хирургии АМН СССР и Всесоюзного научно-исследовательского химико-фармацевтического института им. С. Орджоникидзе Министерства медицинской промышленности СССР, возглавляемая Б. В. Петровским, разрабатывает новый принцип химиотерапии опухолей. Он заключается в попытке превратить раковые клетки из факультативных в облигатные анаэробы[1].

Непереносимость кислорода анаэробами связана с отсутствием у них защитного фермента супероксиддисмутазы (СОД), не допускающего образования в клетках перекиси водорода при их контакте с молекулярным кислородом. Учитывая, что опухоли имеют низкую активность СОД, исследователи попытались полностью ее подавить и вызвать непереносимость раковых клеток к кислороду.

Опыты проводили на мышах и крысах, которым прививали соответственно асцидную карциному Эрлиха (перевиваемая эпителиальная опухоль брюшной полости) или саркому Иенсена (перевиваемая опухоль соединительной ткани). Через 1—2 суток после прививки раковых клеток животным 7—10 дней вводили внутримышечно диэтилдитиокарбамит натрия (ДЭДТК), избирательно подавляющий активность СОД на 54%. Контрольные животные получали чистый солевой раствор. При сравнении массы развивающихся опухолей в контрольной и опытной группах оказалось, что многократное введение ДЭДТК в дозе 0,25 г/кг веса животного заметно тормозит рост карциномы и почти не влияет на развитие саркомы. Увеличение дозы ингибитора до 0,5 г/кг усиливает торможение роста карциномы в 2 раза. Развитие саркомы несколько замедлялось лишь при введении крысам высоких концентраций ДЭДТК. В этом случае противоопухолевый эффект ингибитора удалось усилить дополнительным воздействием на животных гипербарической оксигенации. Для этого крыс с привитой опухолью ежедневно помещали на 45 мин в барокамеру в атмосферу чистого кислорода при давлении 1,5—2,5 атм. Гипербарическая оксигенация сама по себе не оказывала выраженного влияния на рост саркомы. Однако если ее применяли через 1,5—2,5 часа после введения ДЭДТК, такое комбинированное воздействие почти в 2 раза сильнее тормозило рост опухоли, чем только ингибитор.

Испытывалось и прямое воздействие кислорода на раковые клетки с подавленной активностью СОД. Для этого у больных мышей, получавших ДЭДТК, выделяли клетки карциномы и помещали их на 1—3 часа при температуре 37°С в пробирки с ферментом ксантиноксидазой, генерирующей активный кислород. Подсчитав число «жизнеспособных» и «нежизнеспособных» раковых клеток по окраске их трипановым синим (внутрь живых клеток краситель не проникает), установили, что через 2 часа инкубации с ксантиноксидазой погибает 63,75%, а через 3 часа — 86,7% раковых клеток. В контрольных пробирках, без ксантиноксидазы, количество «нежизнеспособных» клеток после трехчасовой инкубации не превышало 20%.

Проведенная серия экспериментов показала перспективность дальнейшей разработки этого нового способа химиотерапии рака.

Доклады АН СССР, 1981, т. 256, № 5, с. 1273—1276.

Цитология

Грудное молоко стимулирует синтез ДНК

Известно, что слюна, кровь, моча и другие жидкости организма содержат биологически активный полипептид с молекулярным весом 6000, который стимулирует деление клеток эпителиальных тканей, выстилающих внутренние органы, и поэтому называется эпидермальным фактором роста. Недавно американский биохимик Г. Карпенте (Университет Вандербильта в Нашвилле) выделил аналогичный полипептид из грудного молока. Добавление его в пробирки с искусственной средой вызывает усиленное деление растущих в них клеток.

В экспериментах исследователь использовал хорошо изученную культуру фибробластов (клеток соединительной ткани) человека. В питательную среду

[1] Анаэробы — клетки, получающие энергию за счет бескислородного расщепления углеводов или аминокислот. Факультативные анаэробы могут развиваться в присутствии кислорода, а облигатные погибают.

с этой культурой он вводил, наряду с выделенным полипептидным фактором, меченный изотопом предшественник синтеза ДНК — ^{3}Н-тимидин. Когда через двое суток срезы фиксированных клеток покрыли фотоэмульсией, а затем проявили, оказалось, что большинство клеток содержат изотопную метку — она видна под микроскопом в виде темных зерен серебра, выпавших на фотоэмульсии в местах включения ^{3}Н-тимидина в клетки, синтезирующие ДНК. Число таких подготавливающихся к делению клеток почти в 11 раз превышало обычный для этой культуры уровень.

Интересно отметить, что 10-процентное грудное молоко оказывало на эти же клетки еще более сильное стимулирующее воздействие, чем выделенный из него полипептид. Очевидно, в молоке содержатся определенные ферменты, влияющие на активность этого полипептида.

Добавление эпидермального фактора роста грудного молока в питательную среду клеточных линий мышей также усиливало у них синтез ДНК, но в меньшей степени, чем в клетках человека. Это свидетельствует об определенной видовой специфичности указанного фактора.

Таким образом, грудное молоко содержит не только необходимые для новорожденного питательные вещества и витамины, но и специальные биологически активные вещества, непосредственно влияющие на рост его тканей.

Science, 1980, v. 210, № 4466, p. 198—199 (США).

Зоология

«Диалекты» китов

Первые записи звуков, издаваемых горбачами[1] (Megaptera noveangliae), были сделаны более десятилетия назад в высоких широтах, где киты летом кормятся планктоном. Зимой 1971 г. у Бермудских о-вов, в период появления у китов потомства, группа американских исследователей под руководством Х. Э. Уинна зарегистрировала значительно более сложные, упорядоченные звуковые сигналы длительностью от 6 до 30 мин.

Установлено, что определенные наборы разнообразных звуков повторяются китами по многу раз. Слагающаяся таким образом «песня» состоит из «слонового храпа», «стонов», «завываний», дрожащих «оханий», «вскриков», «чириканья», «трескотни». В одной «песне» используется до 18 звуковых сочетаний, связанных в короткие ритмические «фразы». Набор «фраз» повторяется в определенной последовательности, как бы составляя некую тему. Закончив одну тему, кит продолжает издавать упорядоченные звуки следующей, и так несколько раз, пока не придет время всплыть на поверхность за воздухом.

Замечено, что все «песни», записанные в одной местности, весьма схожи. Исследования 1980—1981 гг. позволили сопоставить фонограммы, полученные в разных районах Атлантического океана — в его северной части, у о-вов Зеленого Мыса, у берегов Африки и в водах Вест-Индских о-вов, т. е. на расстояниях свыше 4000 км один от другого. Несмотря на незначительные расхождения, сохраняется общий характер «песен».

Другие записи сделаны в северной части Тихого океана (вблизи Гавайских о-вов) и у побережья Мексики, т. е. на расстоянии 5000 км друг от друга. Между ними также обнаружено большое сходство, но от атлантических фонограмм они отличаются весьма существенно. Третий «диалект» зарегистрирован в водах, омывающих о-ва Тонга (южная часть Тихого океана), и он резко отличается от первых двух.

По-видимому, так «поют» взрослые одинокие самцы. Горбачи, как и другие киты, отличаются очень острым слухом, и такое «пение» они должны слышать в воде за сотни километров. Сама «песня» достаточно индивидуальна, чтобы различать по ней отдельных особей.

В дальнейшем предстоит выяснить, являются ли китовые «диалекты» следствием генетически унаследованных различий, связанных с изолированностью отдельных стад в разных районах Мирового океана, или же это результат различных навыков, получаемых при обучении каждого следующего поколения.

Behavioural Ecology and Sociobiology, 1981, v. 8, p. 41 (США).

Зоология

Первый случай размножения императорского пингвина в неволе

В сентябре 1980 г. сотрудникам Института исследования моря им. Хаббса (Сан-Диего, США) впервые удалось организовать выведение птенцов императорского пингвина вне Антарктики.

В авиарии института содержится 45 императорских пингвинов, доставленных сюда из района залива Мак-Мердо. На родине эти птицы выводят потомство, находясь на льдинах в океане при температуре зимой до —60°С. В институте им были созданы сходные условия с искусственным охлаждением воздуха, льдом в бассейне, ими-

Новорожденный императорский пингвин выглядывает из-под жировой складки на животе у отца.

[1] См. также: Способность китов распознавать звуки.— Природа, 1981, № 7, с. 115.

тацией смены полярной ночи и полярного дня сообразно ритмам Южного полушария. Всего появилось на свет в этом авиарии три птенца императорских пингвинов. Менее прихотливые малые пингвины Адели, которые также содержатся здесь вместе с императорскими, за последние 4 года вывели более 100 птенцов.

В природных условиях самка императорского пингвина, отложив яйцо, передает его самцу, который «выстаивает» его в течение двух месяцев, пока мать не вернется с кормежки в море. В авиарии эта особенность жизненного уклада птицы обеспечивалась тем, что самку удаляли на время инкубации в другое помещение и возвращали, лишь когда птенец вылуплялся.

Экстремально тяжелые природные условия, в которых обитают пингвины, чрезвычайно осложняют их изучение. Теперь, начав создавать колонию этих птиц в максимально приближенной к естественной, но доступной для наблюдений обстановке, специалисты надеятся собрать возможно полные данные об этих интереснейших представителях антарктической фауны.

Американская ассоциация зоопарков и аквариумов в 1980 г. за работу с пингвинами, успешное их содержание и изучение особенностей брачного поведения и размножения удостоила Институт исследования моря им. Хаббса своей высшей награды — премии им. Эдварда Х. Бина по зоологии.

Antarctic Journal of the United States, 1980, v. XV, № 4, p. 15 (США).

Зоология

Взаимная мимикрия хищников и жертв

Известно, что жуки-светляки из семейства Lampyridae используют для поиска полового партнера закодированные последовательности световых вспышек. Так, самцы светляка Photinus macdermotti, обитающего на востоке США, сообщают о себе сигналом из двух вспышек, разделенных интервалом в 2 с, а самки отвечают им примерно через секунду одной вспышкой. Самки другого вида светляков — Photuris versicolor, обитающего в тех же местах, своими одиночными вспышками подражают самкам P. macdermotti и, подманив таким способом самцов P. macdermotti, нападают на них и поедают. Расправляясь со своей жертвой эта самка-хищник иногда дает дополнительную вспышку, которую имитируют ее жертвы — самцы P. macdermotti. Завладев самкой, они отпугивают этим сигналом приближающихся соперничающих самцов.

Как предполагает Дж. Ллойд из Флоридского университета (США), исследовавший световую коммуникацию указанных видов с помощью фотоумножительной аппаратуры, взаимное имитирование у хищника и жертвы могло возникнуть в процессе их коэволюции. Поскольку хищный P. versicolor охотится не только на P. macdermotti, но и на другие виды, в том числе и на дающих одинарные вспышки, правильный ответ на которые должен следовать с другим интервалом, хищник может ошибиться и эта ошибка хищника в процессе перестройки с одного вида жертвы на другую могла быть использована жертвой как для распознавания хищника, так и для подражания ему. Подобное совершенствование средств защиты и нападения, происходящее в процессе коэволюции хищника и жертвы и усиливающее их взаимное имитирование, приводит к тому, что каждый вид в конце концов начинает подражать собственной мимикрии, эволюционно ранее у него развившейся.

Nature, 1981, v. 290, № 5806, p. 498—500 (Великобритания).

Экология

Кадмий и здоровье

Национальный совет по научным исследованиям Канады опубликовал сводку данных о вредном воздействии кадмия на живые организмы, в том числе на человека, обобщив известные на сегодня сведения в этой области.

В окружающую среду кадмий попадает при сжигании ископаемых видов топлива, с выхлопными газами двигателей внутреннего сгорания, при выплавке и очистке металлов (в основном меди, свинца, цинка), из илов сточных вод, удобрений (суперфосфат), отходов электронной и электротехнической промышленности и т. д. В организм человека кадмий поступает с пищей уже в виде металлоорганических соединений, содержащихся главным образом в почках и печени животных, моллюсках, ракообразных, зернах пшеницы и риса. Значительно меньшая доля кадмия поступает в организм с водой и при дыхании. Дополнительным его источником служит курение.

Попав в плазму крови, кадмий затем концентрируется в печени, почках, предстательной и поджелудочной железах. Со временем он почти целиком переносится в почки, откуда выводится крайне медленно (2 мкг/сут), так что полупериод его жизни в организме около 30 лет. Максимальная концентрация кадмия в почках человека наблюдается приблизительно к 50 годам и составляет в среднем 30 мкг на грамм почечной ткани — в США и Канаде, 20 мкг/г — в Норвегии, 125 мкг/г — в Японии.

В организме человека кадмий включается в белок металлотионин. Недавно обнаружено, что металлотионин оказывает токсическое действие на клетки эпителия трубчатой системы почек, вызывая хроническую почечную недостаточность. Кроме того, кадмий способствует образованию камней в почках, ведет к малокровию, препятствуя включению железа в гемоглобин и разрушая эритроциты. В период беременности кадмий затрудняет передачу сквозь плаценту меди и цинка, необходимых для нормального развития плода. Предельная концентрация кадмия в почках, приводящая к острой почечной недостаточности, составляет 200 мкг/г, а при нехватке в

организме железа и витамина С может быть и ниже.

Подсчитано, что средний канадец съедает еженедельно около 500 мкг кадмия, из которых примерно 30 мкг усваивается организмом; в дополнение к пищевой дозе курящий канадец вводит еженедельно еще 10 мкг. Эксперты Продовольственной и сельскохозяйственной организаций (ФАО) и Всемирной организации здравоохранения рекомендовали принять в качестве предельно допустимой еженедельной дозы кадмия величину 400—500 мкг.

National Research Council Canada, Report, 1979, № 16743; 1980, № 17585, p. 75—80 (Канада).

Физиология растений

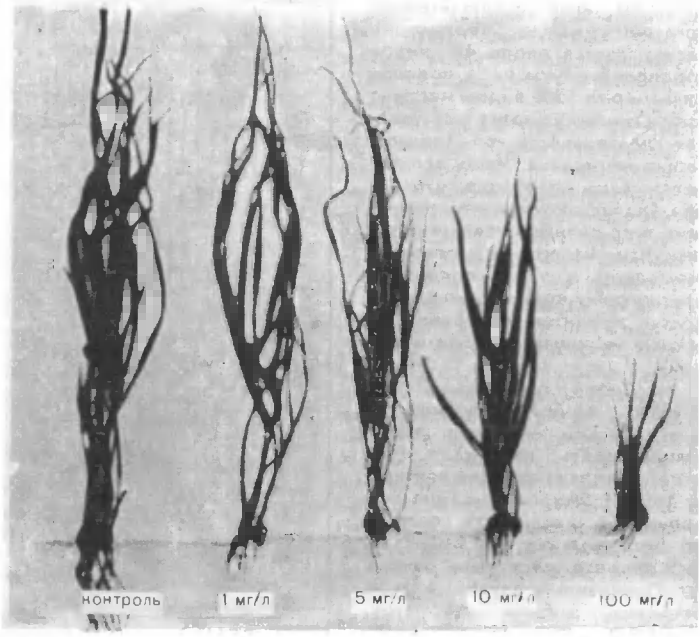
Кадмий задерживает рост и развитие ячменя

Р. И. Первунина и Н. Т. Зырин (Институт экспериментальной метеорологии, Обнинск) исследовали, как влияют различные концентрации кадмия на рост и развитие ячменя. Растения ячменя выращивали в течение двух месяцев на водной питательной среде, в которую добавляли 0 (контроль), 1, 5, 10 и 100 мг кадмия на литр в виде сернокислой соли. Смесь меняли каждые четыре дня. Общую биомассу, содержание кадмия в различных частях растения и содержание сахаров в листьях определяли трижды: в стадиях кущения, выхода в трубку и колошения.

Растения, выращиваемые на растворах с концентрацией кадмия 100 мг/л, развивались слабо и на второй месяц погибали. У остальных растений степень подавления роста была пропорциональна содержанию кадмия в интервале концентраций 1—10 мг/л. Количество накапливаемого кадмия в корнях растений, выращенных на питательной смеси с концентрацией 10 мг/л, достигает 880—1600 мг/кг; в листьях и стеблях — только 427—515 мг/кг.

Увеличение содержания кадмия в растворе приводит к росту количества сахаров в листьях, особенно заметному в первой фазе развития. Будучи химическим аналогом цинка, кадмий может заменять его в ферментативной системе, необходимой для фосфорилирования глюкозы при углеводном обмене. За нормальное состояние углеводного обмена принимался количественный и качественный состав сахаров в контрольных растениях. Повышающееся содержание сахаров в листьях свидетельствовало о нарушении оттока продуктов ассимиляции из листьев вследствие меньшего их использования для роста растений.

Чтобы оценить степень влияния почвы на поступление кадмия в растения, проводились опыты на почвенных культурах с теми же количествами кадмия, что и на водных культурах. Растения ячменя, выращенные на загрязненной кадмием почве, поглощают его в количествах на порядок ниже, чем выращенные на питательном растворе с тем же содержанием металла. Почва, таким образом, способна в значительной степени задерживать кадмий (за счет снижения скорости диффузии ионов кадмия к корням растения).



С увеличением концентрации кадмия в питательных растворах у ячменя заметно уменьшается величина стеблей и корней (возраст растений — 1 месяц).

Труды Института экспериментальной метеорологии, 1980, вып. 10 (86), с. 79—85.

Охрана природы

Большой Барьерный риф взят под охрану

Решением правительства Австралии при поддержке Всемирного фонда охраны природы часть Большого Барьерного рифа взята под охрану. Созданный на основании этого решения Морской парк Барьерного рифа, именуемый Парк Каприкорния, занимает пока площадь 11 800 км^2; рассматривается вопрос о присоединении к нему еще 36 700 км^2.

На этой исключительно богатой жизнью территории насчитывается около 400 видов кораллообразующих полипов и примерно 1500 видов морских рыб. Отныне всякая хозяйственная деятельность в Морском парке запрещена. Часть его будет служить рекреационным целям (допускаются контролируемое погружение аквалангистов, экскурсии на лодках с прозрачным дном и т. п., подводная охота исключена), а другая, куда доступ посторонним полностью закрыт, — только научным целям.

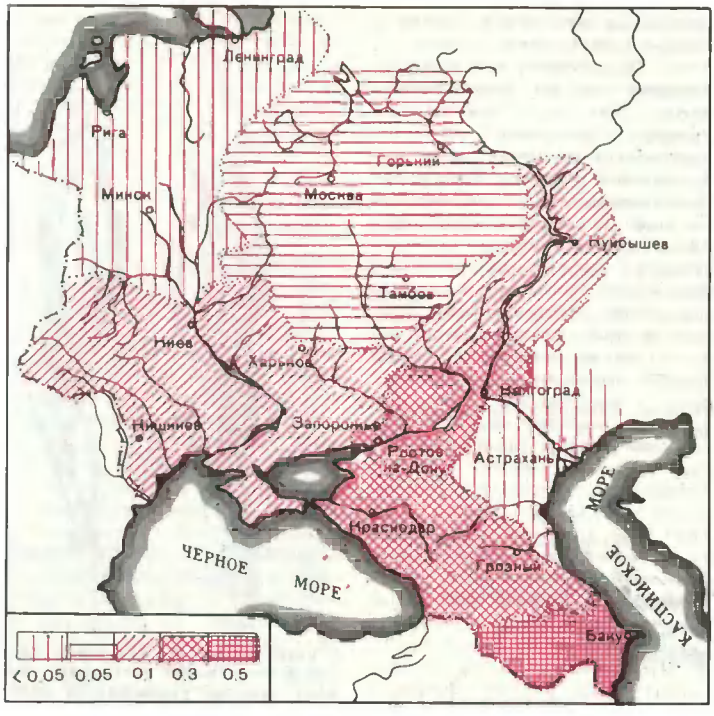
Среди охраняемых животных — несколько редких видов морской черепахи, выводящей здесь потомство (вес отдельных экземпляров достигает 160 кг). Наносившие большой урон их численности заводы по производству консервов из черепашьего мяса ныне закрыты. Прекращена также на ряде островов добыча фосфатов, уже во многих местах уничтожившая растительность и почвенный покров. Остается нерешенной, однако, еще одна проблема этого уникального района, связанная с вырубкой лесов и интенсивным сельским хозяйством на восточном побережье Австралии: эрозия почвы и вынос искусственных удобрений в прибрежную часть Кораллового моря загрязняют его воды, пагубно отражаясь на росте полипов, нарушая жизненные функции птиц и морских животных.

National Geographic Magazine, 1981, v. 159, № 5, p. 630—635 (США).

Охрана природы

Остаточное загрязнение почв ДДТ

Ц. И. Бобовникова, Е. П. Вирченко и С. Г. Малахов (Институт экспериментальной метеорологии, Обнинск) опубликовали результаты обследования отдельных сельскохозяйственных районов на Европейской части территории страны, которое осуществлялось в соответствии с программой работ по контролю загрязнения почв. Измерения проводились в 1974—1978 гг. Для контроля были выбраны наиболее персистентные (стойкие) хлорорганические пестициды — ДДТ и его метаболиты. В каждом регионе отбиралось до 400 образцов почв (по 20 образцов с площади 3—10 га в слое почвы 0—20 см). Пробы анализировались методом газожидкостной хроматографии, чувствительность которого для ДДТ 7,0 мкг/кг (ошибка анализа 15%).



Карта-схема среднего содержания ДДТ (мг/кг) в слое почвы 0—20 см под пропашными культурами на Европейской территории СССР.

Данные пятилетнего обследования показывают, что на Европейской части территории СССР уровень загрязнения почв ДДТ не превышает предельно допустимой концентрации (ПДК) — 1 мг/кг. Наиболее низкие уровни (<0,05 мг/кг) — в Прибалтике, Белоруссии, нечерноземных областях РСФСР, Астраханской области и в Поволжье; здесь содержание ДДТ приближается к уровню загрязнения пестицидами почв заповедников. Более высокие уровни (0,05—0,1 мг/кг) наблюдаются на Украине, в Молдавии и Среднем Поволжье. Самые высокие — в Краснодарском крае, на Северном Кавказе (0,1—0,3 мг/кг) и на Кавказе (0,3—0,5 мг/кг), но и они ниже ПДК в несколько раз.

Поскольку в Советском Союзе применение ДДТ запрещено с 1971 г. (что, естественно, привело к снижению содержания этого пестицида в почвах), была поставлена задача проверить, не происходит ли в настоящее время загрязнение почв за счет крупномасштабного переноса ДДТ из районов, где он продолжает интенсивно применяться (из Индии, Африки и других развивающихся стран). Для выяснения этого вопроса измерялось содержание ДДТ в осадках (дожде и снеге). По данным измерений 1978 г.,

в Подмосковье с дождем в течение года выпадает 12,5 г/км^2 (в 6 раз больше, чем со снегом). Однако эти количества составляют лишь десятые доли процента от содержания ДДТ в пахотном слое (концентрация 0,05 мг/кг означает, что в 20-сантиметровом слое почвы на площади 1 км^2 содержится около 15 кг ДДТ). Средние концентрации ДДТ в заповедниках — 0,007—0,019 мг/кг.

Таким образом, запасы ДДТ в почвах Европейской территории Союза, в том числе и в заповедниках, связаны, по-видимому, с прошлой историей применения этого персистентного препарата. При этом загрязнение могло произойти как за счет глобального переноса, так и переноса на короткие и средние расстояния (для сельскохозяйственных районов главным источником загрязнения может быть, конечно, непосредственное применение препарата в прошлом).

Грубые определения времени пребывания (τ) ДДТ в пахотном слое почвы, выполненные на специальных опытных площадках в Узбекистане, дали $\tau \approx 1$—2 года; в Европейской части СССР τ в несколько раз больше, что объясняет остаточные количества ДДТ в почве. Произведенные оценки удаления хлорорганических пестицидов с поверхности почвы за счет смыва дождями показывают, что смыв составляет всего десятые доли процента (во всяком случае, не превышает 1%). Даже когда дождь выпадает непосредственно после внесения ДДТ в почву, с дождевой водой смывается всего 2,5%. Таким образом, в настоящее время поступление ДДТ в почвы Европейской части СССР с атмосферными осадками и их смыв в речные системы имеет один и тот же порядок величины. Если учесть, что в реки ДДТ поступает в основном во время паводка и что больших различий в содержании ДДТ в реках разных районов СССР не обнаружено, вполне вероятно предположение о глобальном загрязнении рек ДДТ через атмосферные осадки.

Труды Института экспериментальной метеорологии, 1980, вып. 10 (86), с. 33—38.

Геотектоника

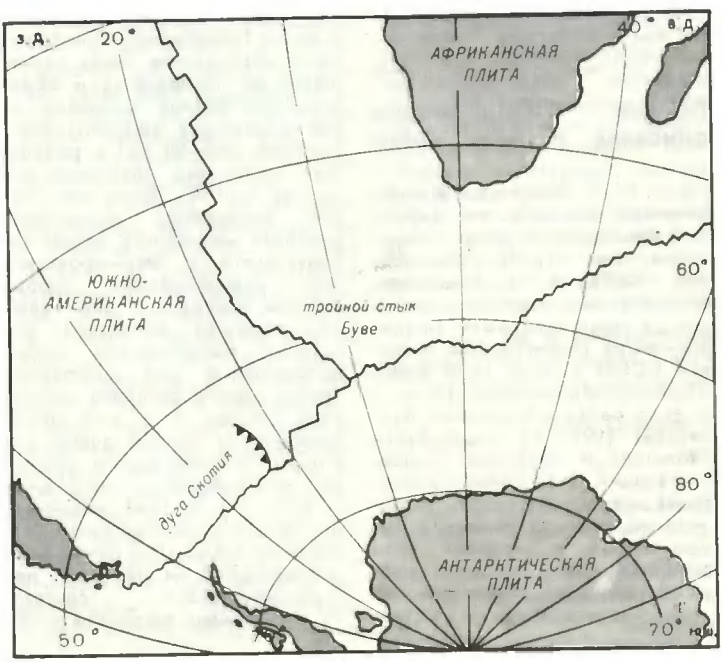
Литосфера Южного океана

Американское научно-исследовательское судно «Мелвилл», принадлежащее Скриппсовскому океанографическому институту (Калифорния), совершило в ноябре — декабре 1980 г. экспедицию в южную часть Атлантики. Исследованиями, проводившимися в рамках международного проекта «Литосфера Южного океана», охватывался район от моря Скотия (Скоша) до о-ва Буве (55° ю. ш., 1° з. д.). На борту судна помимо американских находились специалисты из Австралии, Аргентины, Норвегии, Чили и Японии.

Изучались геологическая и тектоническая история и отдельные структуры Антарктическо-Южно-Американского подводного хребта, простирающегося на 1,5 тыс. км между южной оконечностью Южных Сандвичевых о-вов и о-вом Буве, в районе которого расположен стык трех планетарных плит земной коры — Африканской, Южно-Американской и Антарктической.

В общей сложности Антарктическо - Южно - Американский хребет и его продолжение — Юго-Западно-Индоокеанский (иначе — Африканско-Антарктический) хребет протянулись на 7,5 тыс. км — от Южных Сандвичевых о-вов до тройного стыка плит Буве и затем до другого такого же стыка плит в центральной части Индийского океана. Оба хребта представляют собой часть циркумполярной подводной горной системы и не входят в число основных планетарных океанических хребтов, имеющих, главным образом, меридиональное направление. Названные хребты образованы короткими горными сегментами, которые смещены тесно расположенными крупными зонами разлома; их рельеф сходен с рельефом экваториальных зон разлома в Срединно-Атлантическом подводном хребте.

Скорость раздвижения плит земной коры в районе тройного стыка Буве не превышает



Границы тектонических плит в южной части Атлантики.

1 см/год. Это существенно отличает данную область от других океанических хребтов, где раздвижение идет или значительно интенсивней (Восточно-Тихоокеанское поднятие) или медленнее, но тогда там насчитывается намного меньше крупных зон разлома (Срединно-Атлантический хребет).

Исследования показали, что и Юго-Западно-Индоокеанский (Африканско-Антарктический), и Антарктическо-Южно-Американский хребты сформировались уже после того, как, согласно гипотезе дрейфа континентов, Африка и Антарктида отделились друг от друга. Протяженность и очертания этих хребтов сложились, по-видимому, под влиянием миграции тройного стыка Буве. Все зоны разлома, лежащие непосредственно к востоку и западу от тройного стыка, имеют возраст менее 6 млн лет. В отличие от зон разлома Срединно-Атлантического хребта, которые отражают сложную тектоническую историю последних 150 млн лет, эти зоны разлома показывают ход современной тектонической истории и геологию связанного с ними хребта.

Antarctic Journal of the United States, 1980, v. XV, № 2, p. 1—4 (США).

Геология

Первое геологическое описание острова Кокос

Б. П. Золотарев (Геологический институт АН СССР), Г. Л. Кашинцев (Институт океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР), Л. И. Сердобова (Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов Министерства геологии СССР) в ходе 14-го рейса «Дмитрия Менделеева» (1975 г.) и 24-го рейса «Академика Курчатова» (1977 г.) исследовали геологию и геохимию пород, слагающих о-в Кокос (Коста-Рика) — вулканического образования, расположенного в Тихом океане, в сводовой части одноименного подводного хребта. В полевых работах помимо советских специалистов участвовали геологи костариканской геологической службы. Собранные материалы позволили впервые описать геологическое строение и составить схематичную геологическую карту северной части острова.

Кокос сложен вулканогенными породами, залегающими в определенной последовательности. В нижней части (у самого уреза воды) обнажаются оливин-плагиоклазовые порфировые базальтовые лавы. На них, заполняя неровности палеорельефа, залегают лавы трахибазальтов, затем — трахиандезиты. Верхнюю часть вулканической толщи слагают валунно-галечные образования, перекрытые пепловыми туфами, которые, в свою очередь, перекрываются оливин-плагиоклазовыми базальтами и — еще выше — трахибазальтами и трахиандезитами. Общая мощность изученной части вулканогенного разреза — более 500 м. Как показало геологическое картирование, о-в Кокос ранее занимал примерно вдвое большую площадь; его северная половина была уничтожена при вулканическом взрыве.

Породы о-ва Кокос резко отличаются от пород ложа океана и островных дуг, однако близки к щелочным породам островов Атлантического океана, а по ряду признаков — и к лавам Гавайского и Галапагосского архипелагов. Лавы, излившиеся на поверхность и образовавшие остров, возникли на так называемых промежуточных глубинах (40—80 км) в результате частичного плавления вещества мантии. Каков же способ разделения первичного расплава мантийного вещества, приведшего к формированию этих разнообразных пород? Авторы приходят к двум важным выводам: во-первых, все породы представляют собой непрерывный ряд дифференциатов одного расплава щелочного состава, т. е. они образовались из одного очага; во-вторых, они обогащены летучими компонентами, щелочами, титаном — т. е. теми веществами, которые способствуют разделению магмы (при понижении температуры) на расплавы несмешивающегося состава. Из этих разных расплавов и образуются при излиянии породы различного состава.

Остров формировался в два этапа. На первом, видимо одновременно с поднимением подводного хребта Кокос, сквозь многочисленные трещины изливались оливиновые базальты. Вероятно, на пересечении крупных трещин впоследствии возник вулкан — о-в Кокос. В дальнейшем остров ненадолго опустился до уровня моря (о чем свидетельствует валунно-галечный слой). Второй этап начался с извержения пепловых туфов щелочных оливиновых базальтов, за ними последовали излияния лав, в результате чего образовалась верхняя часть современной вулканической постройки. Поднимание острова, начавшееся со второго этапа, продолжается и сейчас. Вулканическая деятельность завершилась на острове серией мощных взрывов, в результате которых были уничтожены (опустились ниже уровня моря) кратер вулкана и северная половина острова.

Известия АН СССР, сер. геологическая, 1981, № 6, с. 39—50.

Сейсмология

Планетарная сейсмическая активность возросла

По данным Управления геологической съемки США, в 1980 г. на земном шаре произошло 71 значительное землетрясение («значительными» считаются толчки с магнитудой не менее 6,5 по шкале Рихтера, а также более слабые, но вызвавшие существенные разрушения и жертвы). В 1979 г. таких землетрясений было всего 56, в 1978 г. — 62. Особенно резко возросла сейсмическая активность в Северной Америке: на территории США в 1980 г. было 11 значительных землетрясений (в 1979 г. — 5, в 1978 г. — 4).

1980 г. отличался и повышенным, по сравнению с предшествующим годом, числом смертных случаев, прямо связанных с подземными толчками: во

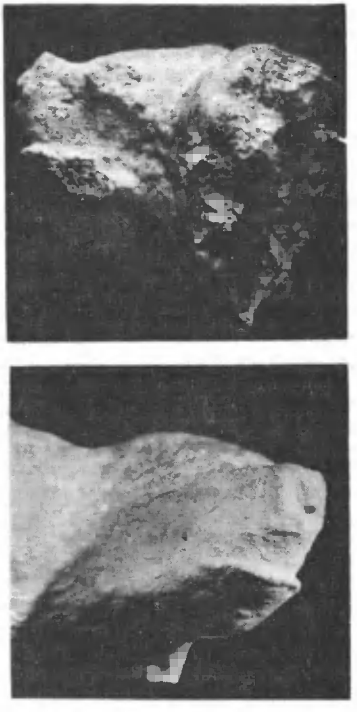
всем мире по этой причине погибло 7140 человек, что почти впятеро превышает данные за 1979 г. Большая часть жертв в 1980 г. была вызвана всего двумя землетрясениями — в Алжире и Италии: подземный толчок магнитудой 7,3, отмеченный 10 октября в Алжире, и последовавший за ним повторный толчок магнитудой 6,2 унесли более 3500 человеческих жизней; землетрясение в южной Италии 23 ноября магнитудой 7,2 стало причиной смерти свыше 3000 человек. Однако общее число жертв сейсмической активности в 1980 г. было существенно ниже среднего за длительный период, составляющего примерно 10 тыс. человек.

EOS, Transaction America Geophysical Union, 1981, v. 62, № 7, p. 67 (США).

Археология

Скульптуре медведя из Забайкалья 30 тысяч лет

При раскопках палеолитического поселения Толбага в Забайкалье, которые проводились в 1979 г. Западным отрядом археологической экспедиции Читинского государственного педагогического института им. Н. Г. Чернышевского, было найдено скульптурное изображение головы медведя. Древний мастер изготовил его из зубовидного отростка второго шейного позвонка шерстистого носорога. Следы скобления и резания, ясно проступающие на поверхности изделия при увеличении под микроскопом в 10—15 раз указывают, что работа производилась каменным орудием с неоднородно выкрашивающимся краем. Используя конусовидную форму отростка, скульптор сумел экономными приемами, удаляя часть костной массы, создать реалистичное изображение медвежьей головы. Особую живость выражению его морды придает приподнятый кверху кончик носа, смоделированный таким образом, что хорошо чувствуются даже широкие ноздри принюхивающегося зверя. Поразительно точно изображена характерная



Скульптура головы медведя в разных ракурсах ($^1/_2$ натуральной величины).

для медведей оттопыренная нижняя губа (у других хищников губы плотно прижаты к зубам). Свойственные медведю маленькие глаза едва угадываются на скульптуре, но тем не менее создан законченный образ со всеми присущими ему особенностями и пропорциями.

Поселение, на котором обнаружена эта скульптура, находится на высоте 35—50 м над уровнем р. Толбага, в глубине амфитеатра, созданного окружающими сопками. С места поселения открывается вид на широкую долину этой речки и на значительный участок долины р. Хилок, в которую она впадает. Поселение состояло из наземных жилищ округлой или овальной формы в виде чумов или шалашей. По всей вероятности, они покрывались шкурами, которые по краям придавливались к земле плитами гнейса или какими-то простейшими деревянными конструкциями. У двух жилищ обнаружен вход в виде тамбура, обращенного на юг. Обогревались жилища изнутри очагами. Близ очага в одном из жилищ, пока еще не полностью раскопанном, и была найдена скульптура головы медведя.

Она создана древним мастером, хорошо знавшим как натуру, так и материал и прекрасно владевшим резцом. Неслучаен и анималистический сюжет — ведь скульптор был членом сообщества, которое постоянно охотилось на шерстистых носорогов, мамонтов, лошадей, северных и благородных оленей, бизонов, куланов и сайгаков, кости которых, определенные Н. Д. Оводовым, обнаружены в культурном слое поселения. Хотя среди остеологического материала стоянки нет остатков медведя (очевидно, открытые ландшафты, окружавшие стоянку в то время, медведи посещали довольно редко), можно не сомневаться, что этот зверь с его пушистой теплой шкурой, жирным мясом, с его особыми повадками привлекал человека, заставлял думать о нем и запечатлевать его образ в произведениях искусства.

Возраст памятника Толбага весьма ранний. Каменная индустрия, обнаруженная на поселении, сохраняет древние мустьерские черты. Радиоуглеродный анализ костей из этого памятника дал абсолютный возраст 34 860±210 и 27 210±300 — время каргинского межледниковья. Не противоречат этому возрасту и данные по палеонтологии и стратиграфии. Таким образом, культурный горизонт поселения Толбага, а вместе с ним и найденная скульптура имеют возраст 35—25 тыс. лет, т. е. толбагинская скульптура — древнейшая скульптура Азии и одна из древнейших в мире.

М. В. Константинов,
кандидат исторических наук,
руководитель экспедиции

В. П. Сумароков
Чита

Н. М. Ермолова,
кандидат биологических наук

А. К. Филиппов,
кандидат исторических наук

Ленинград

Выдающийся биолог-эволюционист А. С. Фаминцын

Э. И. Колчинский,
кандидат философских наук

Ленинградский отдел Института истории естествознания и техники АН СССР

АНДРЕЙ СЕРГЕЕВИЧ ФАМИНЦЫН. Жизнь и научная деятельность. Сб. ст. Отв. ред. А. Л. Курсанов и С. Р. Микулинский. Л.: Наука, 1981, 220 с.

Вторая половина XIX в. ознаменовалась бурным развитием естествознания в России. Многие из русских ученых того времени вошли в историю как создатели новых научных направлений и школ. Жизни и творчеству этих ученых посвящена обширная литература, но, к сожалению, это не относится к биографии и научному наследию крупнейшего русского ботаника, биолога-эволюциониста Андрея Сергеевича Фаминцына (1835—1918). До недавних пор среди имен, составивших славу русской науки, его имя упоминалось несправедливо редко. А между тем Фаминцын стоял у истоков отечественной физиологии растений, был одним из основателей эволюционной биохимии растений. Им была предложена плодотворная гипотеза о симбиозе как факторе прогрессивной эволюции живого. Кроме того, ему принадлежат важные исследования по анатомии, цитологии и эмбриологии растений, по альгологии, лихенологии, микологии и микробиологии. О заслугах Фаминцына говорит и то, что он был академиком Петербургской Академии наук, почетным членом и членом-корреспондентом многих научных обществ и университетов в нашей стране и за границей. При основании Русского ботанического общества его избрали пожизненным почетным президентом. Но впоследствии все это — и заслуги Фаминцына, и их признание современниками — было в значительной степени забыто. А его эволюционно-биологические и философские взгляды нередко трактовались ошибочно.

В последнее десятилетие наметилась тенденция преодоления несправедливого отношения к Фаминцыну. В частности, было опубликовано несколько статей по истории физиологии и эволюционной теории, в которых отмечалось большое значение его трудов для развития этих отраслей знания[1]. В 1978 г. в Ленинграде состоялся симпозиум, посвященный его памяти. Прозвучавшие на нем доклады и выступления убедительно показали, что без изучения наследия и биографии Фаминцына невозможно нарисовать общую историческую картину зарождения и развития физиологии растений, а также трудно проследить истоки многих ее современных проблем. Поэтому выход в свет рецензируемого сборника представляется делом чрезвычайно важным. Он подготовлен коллективом, включающим специалистов в области ботаники, фитофизиологии, истории науки и философии. Такой подбор авторов позволил квалифицированно оценить разнообразные стороны деятельности ученого.

Помещенные в сборнике статьи можно разделить на три группы. В первой из них (статьи Б. П. Строгонова, В. В. Полевого и Д. В. Лебедева) дается общая характеристика деятельности Фаминцына, основных направлений его исследовательской, педагогической и организационной работы в научных учреждениях нашей страны. Вторая группа (статьи Ю. А. Урманцева, К. В. Манойленко, Э. Н. Мирзояна и Л. Н. Хахиной) посвящена анализу философских и эволюционно-биологических взглядов Фаминцына и его работ в области эволюционной физиологии и биохимии растений. И, наконец, в статьях Е. М. Сенченковой, О. В. Заленского, О. А. Семихатовой, Е. А. Кондратьевой-Мельвиль и В. К. Василевской исследуются работы Фаминцына по фотосинтезу и дыханию растений, а также строению различных органов и анатомических структур у разных типов растений.

Необходимо отметить, что обращение к истории разработки Фаминцыным той или иной проблемы является для большинства авторов не самоцелью, а одним из способов лучше понять и оценить современное состояние анализируемых проблем.

В статье Б. П. Строгонова рассмотрены основные этапы жизненного пути ученого, главные направления его научной и общественной деятельности. Показана борьба Фаминцына за распространение научных знаний в России, за усовершенст-

[1] См., например: Сенченкова Е. М. Открытие хроматографии и Академия наук.— Природа, 1974, № 5, с. 92.

вование системы образования и автономность университетов, его интенсивная педагогическая деятельность. Охарактеризована деятельность Фаминцына как создателя крупной отечественной школы физиологов растений. Среди его учеников — основоположник вирусологии Д. И. Ивановский, автор открытия хемосинтеза и создатель почвенной микробиологии С. Н. Виноградский, изобретатель хроматографического метода М. С. Цвет, блестящие экспериментаторы, ботаники и физиологи растений О. В. Баранецкий, А. Ф. Баталин, И. П. Бородин, В. В. Лепешкин, А. А. Рихтер, В. А. Ротерт и многие другие. Идеи Фаминцына оказали большое влияние и на многих ученых, которые не были его непосредственными учениками. Среди них — К. А. Тимирязев, С. П. Костычев, В. Н. Сукачев, Н. А. Максимов и др.

Начатые А. С. Фаминцыным в Петербургском университете исследования по физиологии и биохимии фотосинтеза, по дыханию и брожению, по физиологии и биохимии онтогенеза, а также по сравнительной и эволюционной физиологии и биохимии продолжали оставаться основными направлениями в научной работе созданной им кафедры физиологии растений и в течение последующего столетия. Об этом рассказано в статье В. В. Полевого, который исследует закономерности и тенденции в развитии единой научной школы на протяжении нескольких поколений.

О значении библиографической деятельности Фаминцына для развития отраслевой библиографии в нашей стране и пропаганды достижений отечественных ученых за рубежом подробно рассказывается в статье Д. В. Лебедева. Фаминцын организовал выпуск «Обзоров ботанической деятельности в России», выходивших в 1891—1894 гг., принял активное участие в издании «Русской библиографии по естествознанию и математике», а также в 1901 г. возглавил работу первого государственного библиографического учреждения в России — Бюро по международной библиографии при Академии наук.

Философские взгляды Фаминцына еще недавно подвергались резкой критике за якобы присущие им черты субъективного идеализма и витализма. В результате тщательного историко-философского и историко-научного анализа мировоззрения Фаминцына, получившего наиболее полное отражение в его книге «Современное естествознание и психология», Ю. А. Урманцев пришел к выводу, что оно представляет собой одну из разновидностей естественнонаучного материализма. Это относится прежде всего к идеям Фаминцына об органах чувств как механизмах адаптации организмов, выработанных в процессе борьбы за существование и естественного отбора. В плане критики концепций субъективного идеализма и агностицизма следует рассматривать также идеи Фаминцына об ограниченности чувственного и рационального способов познания мира, которая будет постепенно преодолеваться путем развития экспериментального естествознания, психологии, логики, математики. Что же касается оценки Ю. А. Урманцевым онтологических взглядов Фаминцына, то, по нашему мнению, она не является бесспорной и требует дополнительного анализа.

Столь же запутанным был вопрос и об эволюционно-биологических воззрениях Фаминцына. Несмотря на то, что он активно выступал в защиту учения Дарвина от различных нападок со стороны антиэволюционистов и антидарвинистов и неоднократно отмечал громадное значение этого учения для развития биологии, его взгляды не могут быть отнесены ни к одному из сложившихся тогда направлений в дарвинизме. Это дало повод некоторым авторам обвинять его в антидарвинизме и ламаркизме. Однако подобная оценка, как убедительно показано в статьях К. В. Манойленко, Э. Н. Мирзояна, Л. Н. Хахиной, неправильна. Фаминцын выдвинул ряд дополнений к учению Дарвина, важность которых может быть оценена только в настоящее время. В частности, Фаминцын подчеркивал громадную роль поведения как фактора эволюции животных. Это положение получило развитие в трудах других ученых лишь в последние годы, в связи с успехами этологии и генетики поведения. Существенным вкладом в учение о движущих силах и закономерностях органической эволюции была гипотеза Фаминцына о симбиозе как важнейшем способе повышения уровня организации. Экспериментальные работы Фаминцына доказали реальность симбиогенеза как фактора прогрессивной эволюции в возникновении не только отдельных таксонов (например, лишайников), но и ряда симбиоорганов, а также самой эвкариотической клетки.

В статьях Э. Н. Мирзояна и К. В. Манойленко раскрывается характерное для Фаминцына стремление ввести эволюционный подход в практику экспериментальных исследований. Его работы по изучению структурного, функционального и биохимического сходства между растениями, находящимися на различных ступенях филогенетического развития, а также сходных черт в процессах жизнедеятельности растений и животных, по выявлению приспособительного характера функциональных особенностей организмов позволяют считать его одним из пионеров эволюционной физиологии и биохимии растений. Он представил новые доказательства идеи о единстве органического мира, одним из первых начал изучать в эволюционном плане взаимосвязи функций в организме, а также обратился к исследованию онтогенетических основ эволюции.

О значении работ Фаминцына для изучения фотосинтеза говорится в статьях Е. М. Сенченковой и О. В. Заленского. Е. М. Сенченкова показала, что установленная Фаминцыным связь процессов фотосинтеза и дыхания с явлениями роста и развития всего организма позволила выработать принципиально новый подход к изучению продукционных процессов растений. Большое значение имели также экспериментальные работы Фаминцына по изучению влияния интенсивности солнечного и искусственного освещения на образование крахмала и хлорофилла, на расположение

и движение хлоропластов, на движение хламидомонады, эвглены и осциллатории. Как отмечает О. В. Заленский, эти исследования стали основой для формирования впоследствии представлений о механизмах фотоокисления пигментов, о фоторецепторах и их локализации в мембранах, о механизмах фотораздражения. Фаминцын впервые проводил опыты по фотосинтезу в условиях искусственного освещения и был одним из основателей светокультуры растений.

В статье О. А. Семихатовой, посвященной малоизвестным взглядам Фаминцына на дыхание растений, показано, что они были важной вехой в становлении современных представлений о его физиологических основах. До настоящего времени не потеряли своего значения морфологические и анатомические работы Фаминцына, прежде всего исследования особенностей развития зародыша у однодольных и двудольных растений, гистогенеза листа и пестика, образования листовых почек. Об этом говорится в статье Е. А. Кондратьевой-Мельвиль и В. К. Василевской. В рассмотренных ими работах Фаминцына содержится достоверный научный материал, который необходимо учитывать и ныне.

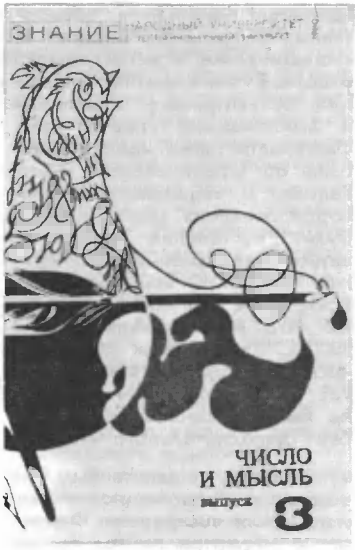
К сожалению, в сборнике явно не хватает статьи, специально посвященной деятельности Фаминцына в Академии наук. Хотелось бы также подробнее узнать, как развиваются его идеи в Институте физиологии растений им. К. А. Тимирязева АН СССР, который был организован на базе созданной в 1890 г. Фаминцыным при Академии наук первой в нашей стране лаборатории физиологии растений.

Сборник, посвященный замечательному русскому ученому, гражданину, патриоту, беззаветно преданному идеям науки, гуманизма и демократии, бесспорно будет иметь большое воспитательное значение. Несомненно и то, что эта книга послужит восстановлению исторической справедливости по отношению к неоправданно забытому ученому. Но главное значение книги состоит в том, что она еще раз убедительно показала, что история науки — это не прогулка по кладбищу идей, а верный путь к правильному пониманию и постановке современных проблем.

Минусы числа и плюсы мысли

А. В. Прохоров,
кандидат физико-математических наук

Москва



ЧИСЛО И МЫСЛЬ. Вып. 3. Сб., М.: Знание (Народный университет. Естественнонаучный фак.), 1980, 188 с.

Третий выпуск сборника «Число и мысль», как и два предыдущих сборника этой серии, посвящен ознакомлению широкого читателя с последними достижениями в приложении кибернетико-математических методов к исследованиям в тех сферах культуры, где опыт применения таких методов еще невелик. Если в первом выпуске были собраны статьи, относящиеся к самым различным сферам (от эпидемиологии до экономики), то второй выпуск был сконцентрирован вокруг применения математики в психологии. Что же касается рецензируемого третьего выпуска, то его основная тема — математика в исследовании искусства (как самих художественных структур, так и их восприятия).

Вводная статья Б. В. Бирюкова и С. Н. Плотникова «Художественная культура и точное знание», освещающая некоторые методологические и исторические аспекты искусствометрии, заканчивается очень точной и краткой характеристикой современного этапа этой области знания: «Период сенсаций кончился. Его сменило время деловой, повседневной работы. Отражением этого и являются материалы, помещенные в этой книге» (с. 27).

Итак, каковы же результаты деловой, повседневной работы? Их и хотелось бы обсудить с читателями, поскольку давно прошло время отстаивать право на жизнь уже существующих направлений на стыке гуманитарных и естественнонаучных знаний и пришло время анализировать некоторые плюсы и минусы полученных результатов.

Статьи, представленные в рецензируемом сборнике, достаточно разнообразны сразу по нескольким параметрам: по предмету рассмотрения, по арсеналу применяемых при этом средств и по своему качеству. Именно последний параметр и послужит нам для упорядочения рассмотрения статей, с тем чтобы начав, так сказать, «за упокой», кончить «за здравие».

Открывает сборник статья Г. Г. Азгальдова «Поверить алгеброй гармонию... Можно ли? Нужно ли?». Цель статьи — рассмотреть применение ЭВМ в процессе создания произведения искусства и в процессе его восприятия и оценки как с точки зрения возможности, так и целесообразности.

Статья начинается с доказательства «теоретической (принципиальной) возможности машинного моделирования произведений искусства», которое мы приводим почти полностью: «Но в силу одного из важнейших принципов материалистической философии — принципа детерминизма такое устойчивое явление (как красота в произведении искусства. —

А. П.) должно иметь определенную причину. Понятно, что такая причина не может не быть закономерной и должна обусловливаться закономерным сочетанием, соотношением эстетических характеристик воспринимаемого объекта. Но в силу другого принципа материалистической философии — принципа познаваемости всех закономерных явлений, неизбежен вывод о том, что эти закономерные сочетания эстетических характеристик объекта могут быть познаны, а в современных условиях это означает — могут быть формализованы и смоделированы с помощью ЭВМ» (с. 31). Не правда ли, весьма просто и четко?!

Разобрав на подобном же уровне вопросы о технических возможностях машинного моделирования и оценке произведения искусства с помощью ЭВМ, автор переходит к изюминке своей работы: «Нужно ли с помощью ЭВМ создавать произведения искусства?» На взгляд автора, не нужно (и в этом «гуманистический» пафос статьи! — А. П.), ибо тогда человек не сможет удовлетворить «потребность в творчестве» и «потребность в самоутверждении путем соревнования». Но непонятно, кто же мешает человеку удовлетворять свои потребности, по Азгальдову, рядом с машинносозданными проявлениями искусства? И стоит ли грудью вставать на защиту искусства от ЭВМ, если сами деятели искусства открыто протягивают руку за новым инструментарием, причем именно в поисках новых творческих возможностей?

Следующая в нашем ряду — статья Г. А. Голицина «Информация и законы эстетического восприятия». Она посвящена разработке теоретико-информационной модели восприятия. Введя основные понятия и записав основные математические соотношения своей модели, автор далее довольно решительно усложняет повествование. Но по мере вчитывания в текст нарастает удивление от использования математической символики.

Приведем только один маленький пример. Вот вводится выражение для потока информации от объекта к наблюдателю, воспринимающему этот объект:

$$\ll E = \frac{\Delta I}{\Delta t} \qquad (4)$$

Здесь ΔI — информативность стимула, Δt — его длительность (что такое «стимул, идущий от объекта», автор не поясняет. — А. П.)...Приближение к цели восприятия («целью восприятия является формирование представления, наиболее близкого объекту». — А. П.)...сопровождается положительными эмоциями (П. К. Анохин, [4]), удаление от нее — отрицательными. Поэтому (4) одновременно есть выражение для эмоций Е» (с. 47). Таким образом, эмоции — это поток информации от объекта к наблюдателю. И при этом ни слова о том, какой же точный смысл вкладывается в это явно модельное отождествление, не говоря уже о предпосылках и границах подобного определения эмоции. Можно было бы подумать, что все это есть у самого П. К. Анохина в некоем капитальном труде, если бы ссылка не приводила нас к статье «Эмоция» в Большой медицинской энциклопедии, изд. 2-е. Нельзя не упомянуть, что в статье начисто отсутствуют указания на размерность всех используемых величин (при сравнительно частом употреблении формул), а самостоятельно разобраться в этом довольно сложно.

Но к середине статьи формулы внезапно кончаются, и далее идет совершенно иная по способу изложения и характеру мышления, более интересная, на наш взгляд, часть статьи, рассматривающая различные художественные приемы выразительности с точки зрения соотношения в них «контраста» и «нюанса» как двух качественно различных способов организации художественного материала.

Далее мы переходим к статье Р. Х. Зарипова «Музыка и искусственный интеллект», в которой автор указывает два основных направления развития машинной музыки. Одним из них является моделирование мелодий в традиционных музыкальных стилях, а другим — производство музыкальных заготовок в нетрадиционной музыке, например сочинение отдельных серий в додекафонически организованной музыкальной форме.

Рассказав читателю о двух способах моделирования музыкальных произведений на ЭВМ — методе марковских цепей и структурном методе, автор переходит к проблеме моделирования музыкального исполнительства, тесно связанной с актуальной сегодня проблемой интонационной выразительности синтезаторов речи при ее автоматическом синтезе. В конце статьи выясняется, что «при моделировании на ЭВМ таких форм музыкального творчества, как мелодии массовых песен, получены машинные результаты, соизмеримые с человеческими» (с. 186). Культурологически понятный, но до чего же грустный для всех нас результат!

Социологическое направление искусствометрии представлено в сборнике тремя статьями. Две из них — «Как измерить театральный репертуар?» В. Н. Дмитриевского и Б. З. Докторова и «Формула эффективности плаката» В. И. Батова — рассказывают нам о социологических экспериментах, выявляющих в одном случае структуру театрального репертуара, а в другом — некоторые показатели эффективности воздействия плаката.

Но вот достаточно корректно продемонстрированы пусть ограниченные, зато реальные возможности социологического эксперимента. А дальше? Какова дальнейшая судьба полученной информации? Каковы, например, выводы из того, что «можно с уверенностью сказать: «мера развлекательности» ГЮЗа примерно равна «мере содержательности» БДТ (речь идет о репертуаре ленинградских театров. — А. П.)»? (с. 125). Авторы заканчивают статью упоминанием о «желании по-новому увидеть традиционные задачи театроведения». Но как видят эти задачи сами авторы? И тут, где должно бы начаться самое интересное, авторы, к нашему огорчению, ставят точку банальным на сегодня утверждением типа «и на Марсе будут яблони цвести» о применении математики в социологии театра.

В этом смысле работа В. И. Батова идет несколько дальше, не останавливаясь на определении различных факторов восприятия объектов (здесь это плакаты) зрителем. С помощью экспертов отбирался ряд художественно-изобразительных приемов, существенно влияющих на восприятие плаката. Оказалось, что, зная эти изобразительные характеристики, можно рассчитать эффект воздействия плаката на зрителя. Интересно, что первые оценки подобных расчетов дали неожиданно хорошее согласие с результатами эксперимента.

Одно из основных требований к социологическому эксперименту заключается в корректности «съема» информации с объекта и учете тех изменений в этой информации, которые вносятся «приборами» (т. е. экспертами или испытуемыми) при ее словесном «оформлении». Именно стремлением выполнить эти требования и интересна статья В. М. Петрова, В. С. Грибкова, В. С. Каменского «Поверить гармонию... экспериментом», посвященная изучению восприятия живописи в стенах музея. Здесь, в частности, снятая информация не переводится на словесный уровень вплоть до того же конечного этапа эксперимента — этапа интерпретации полученных таблиц, графиков, формул,— что и в привычных для нас естественнонаучных экспериментах. На наш взгляд, это может стать существенным завоеванием социологического эксперимента.

Статья Ю. К. Орлова «Невидимая гармония» посвящена одной из самых простых, но в то же время удивительных и многообещающих количественных закономерностей художественного произведения, рассматриваемого как единое целое — закону Ципфа, который связывает (в самом простом случае) частоту употребления слова в тексте с его номером в «частотном словаре» текста. Увлекательно рассказав об истории открытия этого закона и посвятив читателя в несколько неприметных на первый взгляд, но интересных и существенных проблем, автор постепенно подводит его к выводу, что закон Ципфа является законом не языка в целом, но отдельного художественного текста. Далее автор ставит закономерный вопрос: только ли на литературном материале действует этот закон? А как быть, например, с музыкой и живописью? И действительно, если в качестве аналога слова ввести в музыке понятие Ф-мотива — коротенькой попевки длиной от одного до пяти звуков, а в живописи — такой странный (явно несовершенный, но в нулевом приближении разумный) параметр, как площадь, закрашенную на картине одним цветом (с учетом реальной цветоразличающей способности человеческого глаза и реального качества репродукций), то закон Ципфа с определенными оговорками оказывается применимым к количественным исследованиям и в этих областях искусства.

Итак, «время деловой, повседневной работы», наступившее в искусствометрии, ставит свои проблемы. Часть из них затрагивается в этом сборнике, другие, наверное, прозвучат в следующих выпусках. Но главную проблему я бы сформулировал так: «Громада двинулась и рассекает волны... Куда ж нам плыть?»

НОВЫЕ КНИГИ

Физика

Л. Б. Окунь. ЛЕПТОНЫ И КВАРКИ. М.: Наука, Главн. ред. физико-математической литературы, 1981, 304 с., ц. 1 р. 50 к.

Книга представляет собой введение в теорию слабого взаимодействия элементарных частиц. Она адресована в первую очередь физикам-экспериментаторам, поскольку является прекрасным пособием, позволяющим ориентироваться в самых новейших концепциях и проблемах теоретической физики. Однако благодаря простоте используемого автором математического аппарата и прозрачности изложения основных физических идей эта книга может оказаться полезной и для специалистов, работающих в других областях естествознания.

Как известно, слабое взаимодействие — один из четырех видов фундаментальных взаимодействий, существующих в природе; оно ответственно за большое число эффектов в физике (β-распад, многочисленные распады элементарных частиц, нейтринные реакции, несохранение четности), в астрофизике (ядерные реакции на Солнце, взрывы сверхновых) и даже находит применение в технике. Один из крупнейших успехов в современной теоретической физике последних лет — создание объединенной теории слабых и электромагнитных взаимодействий. Более того, исследование слабых взаимодействий открывает путь к созданию единой теории всех элементарных частиц и взаимодействий между ними.

Изложение материала основано на современной концепции строения элементарных частиц, согласно которой все многообразие частиц и их взаимодействий сводится к двум типам фундаментальных частиц — лептонам и кваркам — и к квантам полей, осуществляю-

щих взаимодействие между ними. Книга содержит теорию слабых распадов элементарных частиц и реакций, в которых участвуют нейтрино; в ней дано введение в объединенную теорию электрослабых взаимодействий: рассмотрены физические принципы нарушения калибровочной симметрии и, что особенно важно для экспериментальных исследований, обсуждены ожидаемые свойства переносчиков слабых взаимодействий — промежуточных бозонов. Заключительные главы посвящены перспективам так называемого великого объединения всех видов фундаментальных взаимодействий, а также связи физики элементарных частиц с астрофизикой.

В книгу включен подробный аннотированный указатель литературы по всем рассматриваемым проблемам.

Физика

В. Л. Гинзбург. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА И АСТРОФИЗИКА. Дополнительные главы — 2-е изд. М.: Наука, Главн. ред. физико-математической литературы, 1981, 504 с., ц. 3 р. 40 к.

Существует ряд курсов теоретической физики, многие из которых пользуются заслуженной известностью. Однако ни в каком курсе нельзя изложить всех вопросов, и даже те проблемы, которые рассматриваются, не удается обычно осветить с разных сторон. Поэтому так велик интерес к курсам дополнительного характера, посвященным не систематическому изложению предмета, а отдельным вопросам, аспектам и методам, в особенности если автор курса — известный исследователь, перу которого принадлежат фундаментальные работы в данной области.

Книга В. Л. Гинзбурга представляет собой именно такой дополнительный курс, посвященный некоторым вопросам теоретической физики и астрофизики. Внимание автора концентрируется в основном на проблематике, в той или иной мере связанной с макроскопической и микроскопической электродинамикой. Такой отбор материала в значительной мере определен научными интересами автора, поскольку, как пишет в предисловии сам В. Л. Гинзбург, «только излагая близкий по духу и хорошо знакомый материал, автор мог хотя бы надеяться действительно дополнить другие имеющиеся курсы и монографии, а не заниматься если не их переписыванием, то во всяком случае дублированием».

Во втором издании добавлена глава, посвященная переходному излучению и переходному рассеянию, и ряд других новых материалов; изменен и частично дополнен список цитированной литературы.

География

В. Б. Нефедова, Е. Д. Смирнова, В. П. Чижова, Л. Г. Швидченко. РЕКРЕАЦИОННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ И ОХРАНА ЛЕСОВ. М.: Лесн. пром-сть, 1980, 184 с., ц. 75 к.

В последние годы опубликовано немало книг по географо-рекреационной тематике. Среди них выделяется оригинальная работа сотрудников географического факультета Московского государственного университета. Она рассчитана на инженерно-технических работников лесного и лесопаркового хозяйства, охраны природы, тем не менее может оказаться интересной и для более широкого круга читателей. В книге дается довольно детальная характеристика территорий, в разной степени пригодных для организации различных видов отдыха. Территории эти своеобразны по структуре слагающих их ландшафтов, по времени и интенсивности рекреационного использования, по насыщенности уникальными памятниками природы и истории культуры.

В понятной неспециалисту форме излагаются принципы и методы рекреационной оценки территории, разработанные авторами. Эти положения раскрыты на примерах равнинных и горных регионов страны: центральной части Русской равнины, севера Западной Сибири, межгорноозерной котловины Иссык-Куля.

Авторы показывают, как важно при организации индустрии отдыха учитывать экономико-географическую специфику регионов. В экономически слабо освоенных районах страны основная задача заключается в том, чтобы выявить наиболее подходящие территории для организации зон отдыха. В районах со сложившейся хозяйственной структурой необходимо заблаговременно резервировать для отдыха большие площади. При этом авторы понимают резервирование земель не как консервацию, изъятие их из хозяйственного пользования, а правильно считают, что в настоящее время эти земли могут использоваться народным хозяйством, но их эксплуатация должна строиться с учетом того, что в будущем они будут вовлечены в индустрию отдыха.

Последняя глава книги посвящена проблеме национальных парков — новой для нашей страны форме территориальной организации отдыха в условиях естественной природы.

В. А. Чазов,
доктор географических наук

Пермь

Медицинская география

А. В. Чаклин ПУТЕШЕСТВИЕ ЗА ТАЙНОЙ ПРОДОЛЖАЕТСЯ. М.: Мысль, 1981, 236 с., ц. 1 р. 10 к.

Проблема раковых опухолей — одна из важнейших в современной медицине. Включающее более 100 разновидностей, объединенных общим названием, это заболевание распространено во всем мире. Но частота отдельных форм рака у разных народов различна. Какие социальные, этнические, географические факторы обусловливают трансформацию нормальных клеток в раковые — этот вопрос стоит в центре представляемой книги. Она является своеобразным продолжением книги того же автора «Путешествие за тайной», вы-

шедшей в издательстве «Мысль» в 1967 г.

А. В. Чаклин — заместитель директора Института экспериментальной и клинической онкологии АМН СССР, руководитель рабочей группы «География здоровья» Международного географического союза. Много лет он занимается изучением географических особенностей распространения рака. В поисках причин возникновения заболевания он участвовал во многих экспедициях.

Книга расскажет о большей или меньшей степени предрасположенности к раковым заболеваниям населения различных географических областей, о трагических последствиях атомного взрыва в Хиросиме, об опасности «сигаретной эпидемии», о вредной привычке жевать листья бетеля и других возможных причинах этой болезни.

Демография

Эдвард Россет. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕЧЕСКОЙ ЖИЗНИ. Пер. с польск. В. И. Бомкина, О. Д. Комаровой. Ред. и послесл. Б. Ц. Урланиса. М.: Прогресс, 1981, 383 с., ц. 1 р. 50 к.

Действительный член Польской Академии наук Э. Россет широко известен не только в своей стране, но и за ее пределами трудами по различным проблемам демографии. Данная книга — итог его многолетних исследований продолжительности человеческой жизни.

Автор рассматривает два аспекта долголетия: процесс старения населения и увеличение продолжительности жизни. Показывается динамика продолжительности жизни на протяжении человеческой истории: от повсеместно практиковавшегося в древние времена уничтожения детей и умерщвления стариков до нынешнего состояния долголетия, показателем которого является средняя продолжительность жизни, превышающая в промышленно развитых странах 70 лет. Автор на большом фактическом материале рассматривает социально-экономические, климатические, биологические аспекты этого явления, выделяя понятия максимальной (исключительные случаи) и естественной (видовая, биологическая) продолжительности жизни. В книге обсуждается проблема интерпретации различных коэффициентов смертности, при этом автор подчеркивает, что среднюю продолжительность жизни нельзя рассматривать как показатель состояния здоровья населения.

История науки

В. И. Вернадский. ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ ПО ИСТОРИИ НАУКИ. Ред. и вступ. ст. С. Р. Микулинского. Сост. М. С. Бастракова, И. И. Мочалов, В. С. Неаполитанская, Н. В. Филиппова, А. Д. Шаховская. Рук. подг. к печати Г. А. Фирсова. М.: Наука, 1981, 360 с., ц. 2 р.

Издательство «Наука» продолжает публикацию творческого наследия Владимира Ивановича Вернадского. На сей раз он предстает перед читателем как выдающийся ученый, не только понимавший всю непреходящую ценность истории науки и техники, но и внесший в эту область незаурядный вклад. В своем предисловии к книге С. Р. Микулинский справедливо называет В. И. Вернадского энциклопедистом XX века.

Составители разбили книгу на три части. Первая — это фундаментальные «Очерки по истории современного научного мировоззрения» (их полный текст публикуется впервые[1]). Они представляют собой свод из 12 лекций, насыщенных мыслями, фактами и обобщениями. Вторая часть, озаглавленная «Проблемы общей истории науки», содержит ряд очерков, три из которых также публикуются впервые («Прогресс и народные массы», «Кристаллография в XVII столетии», «Из записок по польскому вопросу»). Часть третья — «Проблемы организации исследований по истории науки» — состоит из разного рода «Записок...» и «Соображений...», почерпнутых, в основном, из рабочих протоколов соответствующих академических комиссий: читая их, видишь, как много сил и труда отдавал В. И. Вернадский и этой, так сказать, «нетворческой» стороне вопроса. В качестве приложения публикуется переписка Вернадского с Дж. Сартоном, выдающимся историком науки, работавшим в США (подлинники писем — на французском языке).

Издание завершают обширные и тщательно составленные примечания, а также именной указатель, занявший почти десять страниц текста — еще одно своеобразное свидетельство широты знаний и интересов В. И. Вернадского.

[1] Предварительная публикация одной из них была в нашем журнале. См. Лихтенштейн Е. С. Неопубликованные лекции В. И. Вернадского о книгопечатании. В. И. Вернадский. Открытие книгопечатания.— Природа, 1980, № 7, с. 50—61.

История науки

КАВКАЗ И СРЕДИЗЕМНОМОРЬЕ. Тбилиси. Изд-во Тбилисского ун-та, 1980, 360 с., ц. 90 к.

В сборнике статей (авторы В. В. Иванов, О. Д. Лордкипанидзе, О. С. Широков, А. В. Урушадзе и др.) сделана попытка широкого сопоставления — лингвистического, мифологического, экономического, эстетического — двух сотрудничавших между собой в течение долгого времени регионов — стран античной культуры и Причерноморья. Авторы выделяют типологические параллели к мифу о Прометее в грузинском сказании об Амиране, сходные черты в культе волка на Кавказе, в древней Малой Азии и на Балканах, выявляют роль античных и византийских традиций в становлении древнегрузинской и древнеармянской литератур, философской и математической мысли.

В КОНЦЕ НОМЕРА

Открытие постоянной Марка

(науковедческие уроки исследования О-систем)

Н. И. Кузнецова,
кандидат философских наук
Ю. А. Шрейдер,
кандидат физико-математических наук

Москва

Чтобы понять механизмы развития науки, в науковедении нередко используют метод искусственного воспроизведения логики научного исследования в применении к объектам, для науки несколько непривычным[1]. В один прекрасный день мы услышали, как лектор перед выступлением Московского камерного оркестра начал перечислять его состав: 6 первых скрипок, 5 вторых, 4 альта, 3 виолончели и 1 контрабас. Какая великолепная числовая закономерность! Идеальная прямая пропорциональность зависимости числа инструментов от его ранга в струнной группе нарушается лишь в последней точке. (Рангом принято в целом ряде наук называть порядковый номер объекта в системе, где эти объекты упорядочены по численности.) Пожалуй, стоит взять в качестве предмета исследования О-систему, т. е. симфонический оркестр.

Итак, у нас есть одна О-система, на которой наблюдается почти идеальное ранговое распределение составляющих эту систему объектов. Как сделать эту систему полностью идеальной? Ответ очевиден: постулировать существование ненаблюдаемого в данной О-системе струнного инструмента, расположенного между виолончелью и контрабасом. Действительно, столь красивая числовая закономерность может быть лишь следствием природного закона. Таков принцип естествознания. Этот ненаблюдаемый объект может существовать в разных смыслах: как архаичная форма, как то, что неминуемо появиться в будущем, или, наконец, как чисто функциональная разновидность. (Ведь вторые скрипки отличаются от первых не своей конструкцией, а ролью в оркестре, т. е. в О-системе.)

Попробуем теперь прогнозировать название этого ненаблюдаемого инструмента. Для этого обратимся к названиям на итальянском языке, где струнные имеют строго системные обозначения. За основу берется viola (альт). С помощью уменьшительного суффикса образуется название скрипки (violina), а с помощью увеличительного — название контрабаса (violone). Отсюда уже как уменьшительное образуется имя для виолончели (violoncello). Система ясна: если некоторое название образовано как увеличительное от чего-либо, то от него можно образовать только уменьшительное, и наоборот. Итак, предсказанный теорией инструмент — это «большая виолончель», или виолончеллона, она же — вторая виолончель.

Математик легко сообразит, что этот процесс можно вести до бесконечности. Так могут быть предсказаны идеальные или предельные инструменты — ω-виола и Ω-виола. Впрочем, в подобные математические изыскания мы не будем вдаваться подробнее. Мы не уверены, что реальность омега-виол выходит за рамки чисто математических конструкций. Впрочем, когда-то физики столь же скептически относились к математическим конструкциям, предсказывающим позитроны или черные дыры...

Мы пришли к интересному открытию на основе наблюдения уникальной О-системы. Как же теперь научиться наблюдать другие О-системы? Для этого нужен мощный прибор. В качестве такового мы использовали известного музыковеда Марка Теряна. Первые эксперименты с новым прибором, как обычно, не привели ни к каким закономерностям. Мы узнали, что состав оркестра Гайдна зависел исключительно от финансовых возможностей его нанимателя, что оркестр Бетховена отличался от оркестра Берлиоза, а Малер считал возможным исполнение своих грандиозных симфоний оркестром с меньшим составом, чем предполагалось вначале...

Пока мы исследовали оркестр как О-систему, предназначенную исключительно для исполнения музыки, закономерности ускользали от нас. Но современный норматив оказался найден, как только в процессе исследования выяснилось, что О-система имеет и совсем другую функцию: гастроли! Выяснилось, что полный состав О-системы должен умещаться в кратком наборе железнодорожных купейных вагонов. В вагоне не должно быть посторонних, иначе нельзя репетировать. Итак, О-системы оказались квантованными и один квант оказался равен 30 музыкантам. (Вместе с необходимым административно-дирижерским составом и резервными местами это и составляет купейный вагон.) Естественно, что мы решили назвать эту новую мировую константу — постоянной Марка.

Наша первая О-система (камерный оркестр) оказался как раз одним квантом, если учесть вторую, ненаблюдаемую виоланчеллону. Тогда в его составе насчитывается 21 струнный плюс 9 духовых, итого ровно 30 инструментов. Это еще раз подтверждает реальность предсказанной нами виолончеллоны.

Развитая выше теория О-систем дает следующие важные выводы. Такие системы квантованы, причем величина кванта «действия» определяется вместимостью купейного вагона, согласующейся с натуральным распределением струнной груп-

[1] Коммервилл Дж. Зонтиковедение — новая наука? — Вопросы философии, 1958, № 7. Розов М. А. Теория S-объектов.— Природа, 1975, № 2. Кузнецова Н. И., Шрейдер Ю. А. Открытие флаконики.— Химия и жизнь, 1980, № 1.

пы, включающей пока ненаблюдаемую, но долженствующую быть виолончеллону. Общее число квантов равно числу необходимых для гастролей вагонов и равно числу контрабасов.

До сих пор мы действовали как исследователи, стремящиеся раскрыть закономерности изучаемого объекта — О-системы. Теперь начнем рассуждать как методологи.

Методологическая структура открытия состояла в том, что О-система была представлена через ранговое распределение, позволившее сразу выделить числовую закономерность и связать ее с системой образования имен объектов. В данном случае ранговое распределение выступает как репрезентатор изучаемого объекта (аналогичные ситуации известны из опыта изучения журнальных потоков в информатике, изучения лексической структуры текстов, заполнения ниш экосистем и т. п.).

Ввиду системности названий предсказание названия нового объекта оказалось равносильно предсказанию его свойств. Эти свойства допускают интерпретацию как «анатомическую» (инструмент, по размеру и диапазону находящийся между виолончелью и контрабасом), так и «функциональную» (вторая виолончель, ведущая «аккомпанирующую» партию).

Мы открыли то, что должно быть, но ненаблюдаемо. Должно быть именно в силу того, что струнные инструменты, по нашему убеждению, образуют целостную подсистему О-системы и разрыв (хиатус) в распределении не должен наблюдаться. Если же такой разрыв наблюдался, значит, он был обусловлен неполной информацией о системе, наличием ненаблюдаемых объектов.

Наш возможный оппонент мог бы обосновать наличие хиатуса в подсистеме струнных тем, что целостную подсистему образует лишь «струнный квартет» (скрипки, альт и виолончель), а хиатус закономерно отделяет от него контрабас. Мы полагаем все же, что оркестр — это не струнный квартет, а группа струнных, обладающих общим единством, что проявляется и в системности названий.

Особый интерес представляет переход от стадии изучения уникальной О-системы к получению общих закономерностей. В начале взаимодействия с прибором (функцию которого для нас исполнял Марк Терян) ничего не обнаруживалось. Но мы действовали целеустремленно, на основе идеи, что числовые закономерности объективно существуют. В результате их удалось найти, но в более сложной и богатой форме, чем в случае исходной уникальной О-системы. Последняя выступила для нас в роли объекта — заместителя многообразия. Аналогичную роль играл горох в опытах Г. Менделя. Красота закономерностей, открытых Менделем, во многом определилась удачным выбором генетического материала и наблюдавшихся признаков. Так же повезло и нам в том, что первая наблюдаемая О-система составляла ровно один квант и имела почти идеальное ранговое распределение в пределах этого кванта.

Следующий шаг давал новую закономерность: квантование О-системы, накладывающееся на исходное ранговое распределение. Новая теория, связанная с квантованием О-систем и обнаружением постоянной Марка, дает совсем иную картину мира — онтологическую структуру О-систем. Первая теория, связанная с изучением только рангового инструмента, базируется на том, что оркестр существует для исполнения произведений. Вторая подчеркивает роль гастролей и, тем самым, общественную природу О-систем. Эти две теории в известном смысле несоизмеримы.

Каковы же выводы, или, лучше сказать, уроки?

Что же мы увидели? Неумолимое разворачивание естественнонаучных познавательных установок в программу совершенно определенных действий. Мы даже можем построить (эксплицировать) структуру нынешних познавательных установок — вполне банальных, но весьма эффективных для современного естествознания.

Мы можем фиксировать неограниченную свободу науки: можно представить оркестр как ранговое распределение. (Как мы это делаем с литературным текстом.) Это — богатый репрезентатор. Но уместный ли? Нужно поставить со всей резкостью вопрос об уместности используемых репрезентаторов в науке. В том числе это необходимо для науковедения. Что именно мы используем как репрезентатор для такого объекта, как наука?

Можно сформулировать такой закон: содержательность научного результата прямо пропорциональна богатству и уместности использованного репрезентатора.

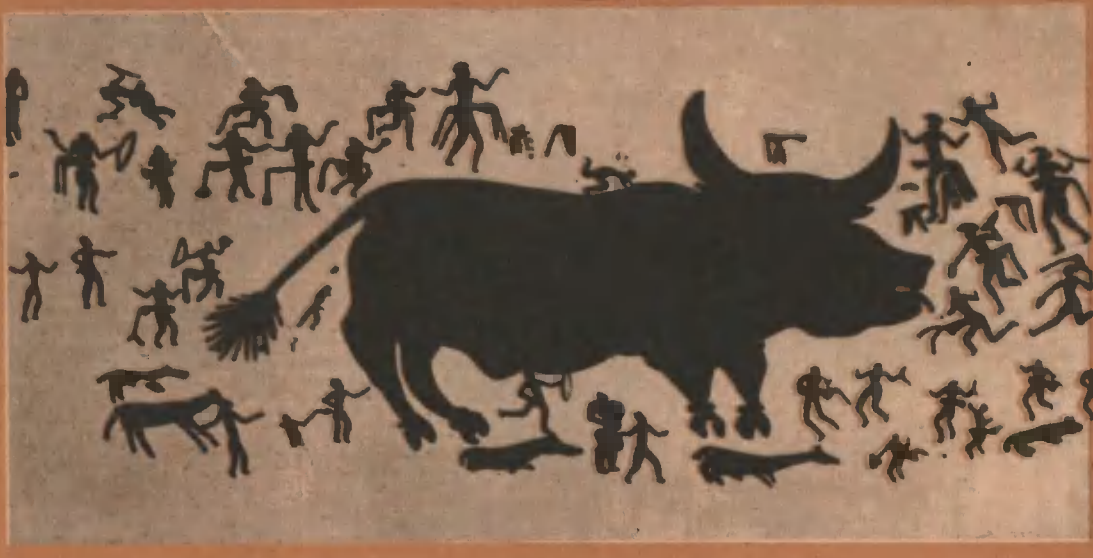
Как понимать единство науки? Наука стремится к нему и одновременно строит несоизмеримые теории: ей нужно какое-то количество новых репрезентаторов. Но от неуместных репрезентаторов необходимо избавляться!

Это важнейший методологический вывод из сделанного на «кончике пера» открытия постоянной Марка.

Художник П. Г. АБЕЛИН
Художественные редакторы:
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР
Корректоры:
Т. Д. МИРЛИС, М. Б. РЫБИНА
Адрес редакции:
177049, Москва, ГСП-1,
Мароновский пер., 26.
Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 4.09.81
Подписано к печати 20.10.81
Т — 28204
Формат бумаги 70×100 1/16
Офсет
Усл.-печ. л. 10,32
Усл. кр.-отт 2196,0
Уч.-изд. л. 15,5
Бум. л. 4
Тираж 82 000 экз. Зак. 2253

Чеховский ордена Трудового Красного Знамени полиграфический комбинат Союзполиграфпрома Государственного комитета СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. г. Чехов Московской области.



Цена 50 коп.
Индекс 70707