

ISSN 0017 — 874X

9

1985

ПРИРОДА



Ежемесячный
популярный
естественнонаучный
журнал
Академии наук СССР

Основан в 1912 году



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
академик
Н. Г. БАСОВ

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

Доктор физико-математических наук
Е. В. АРТЮШКОВ

Академик
Д. К. БЕЛЯЕВ

Член-корреспондент АН СССР
Р. Г. БУТЕНКО

Доктор географических наук
А. А. ВЕЛИЧКО

Академик
В. А. ГОВЫРИН

Член-корреспондент АН СССР
И. Р. ГРИГУЛЕВИЧ

Член-корреспондент АН СССР
Г. А. ЗАВАРЗИН

Член-корреспондент АН СССР
В. Т. ИВАНОВ

Доктор физико-математических наук
Н. П. КАЛАШНИКОВ

Доктор физико-математических наук
С. П. КАПИЦА

Академик
Б. М. КЕДРОВ

Доктор физико-математических наук
И. Ю. КОБЗАРЕВ

Кандидат физико-математических наук
А. А. КОМАР

Академик
Н. К. КОЧЕТКОВ

Доктор геолого-минералогических наук
И. Н. КРЫЛОВ

Доктор философских наук
Н. В. МАРКОВ

Ответственный секретарь
В. М. ПОЛЫНИН

Доктор исторических наук
П. И. ПУЧКОВ

Заместитель главного редактора
академик
Ю. М. ПУЩАРОВСКИЙ

Доктор философских наук
Ю. В. САЧКОВ

Заместитель главного редактора
доктор биологических наук
А. К. СКВОРЦОВ

Академик АН УССР
А. А. СОЗИНОВ

Академик
В. Е. СОКОЛОВ

Доктор геолого-минералогических наук
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора
кандидат технических наук
А. С. ФЕДОРОВ

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

Член-корреспондент АН СССР
В. Е. ХАИН

Член-корреспондент АН СССР

Р. Б. ХЕСИН

Доктор физико-математических наук
А. М. ЧЕРЕПАШУК

Доктор физико-математических наук
В. А. ЧУЯНОВ

На первой странице обложки. Идеализированная математическая модель уникального астрономического объекта SS 433, построенная с помощью ЭВМ. См. в номере: Гончарский А. В., Черепашук А. М., Ягола А. Г. Некорректные задачи в современной астрофизике.

На четвертой странице обложки. Зверовой солонец в верховьях р. Уссурки. См. в номере: Паничев А. М. Литофагия и геология.

Фото А. М. Паничева.

В НОМЕРЕ

- Гончарский А. В., Черепашук А. М., Ягола А. Г.** Некорректные задачи в современной астрофизике 3
Современные математические методы, примененные к анализу высокоточной наблюдательной информации, позволяют «взвесить» звезды, определить их радиусы, температуру и другие важные характеристики, необходимые для понимания природы и эволюции этих астрофизических объектов.
- Келдыш Л. В.** Таммовские состояния и физика поверхности твердого тела. (К 90-летию со дня рождения И. Е. Тамма) 17
Сравнительно новый объект физических исследований — поверхность твердого тела — представляет собой двумерную систему, многие явления в которой выглядят совершенно иначе, чем в объеме, а некоторые вообще не имеют трехмерных аналогов.
- Паничев А. М.** Литофагия и геология 34
Давно известно, что дикие травоядные животные поедают некоторые разновидности горных пород и почв. Выясняются закономерности распространения и происхождения таких пород, их состав, а также причины, по которым они нужны животным.
- Лозе И. А.** Искусство каменного века Восточной Прибалтики 40
Рисунки на поверхности костяных и роговых изделий, глиняные, деревянные и янтарные скульптурки не только отражают хозяйственную жизнь древних охотничьих племен: они рассказывают о развитии творческого мышления той эпохи.
- Гершанович Д. Е., Леонтьев О. К.** Холмистое дно океана 43
Миллионы холмов высотой от 50 до 500 м покрывают дно Мирового океана. Холмистый рельеф в океане занимает площадь, превышающую площадь земных материков.
- Голубов В. Н.** Минералогия живописи 48
Далеко не каждый художник или реставратор знает, что такое природная минеральная краска и как она ведет себя в произведениях живописи. Ответить на эти вопросы позволяют специальные геолого-минералогические исследования.
- Козик С. С., Труберг А. Г.** Уссурийский когтистый тритон 55
Как бы это ни казалось неожиданным, но в биологии многих видов животных, внесенных в «Красную книгу СССР», наши «знания» сводятся к набору вопросов, на которые еще предстоит найти ответ. К числу таких животных относится и безлегочный тритон — самая загадочная амфибия Дальнего Востока.
- Кунин Е. В., Чумаков К. М.** Вирусы без нуклеиновой кислоты? 58
Необычные возбудители группы заболеваний центральной нервной системы стали одной из крупных биологических сенсаций. В самых тщательных исследованиях до сих пор не удалось обнаружить в них ничего, кроме белка. Как же может существовать вирус без нуклеиновой кислоты — носителя генетической информации?
- Крылов И. Н.** Древнейшие следы жизни. (По материалам 27-й сессии Международного геологического конгресса) 68
Когда зародилась жизнь на Земле и как она развивалась? Каким был облик первых живых существ? Из какого исходного материала они возникли? Все эти вопросы с огромным интересом обсуждали участники 27-й сессии Международного геологического конгресса.

Матвеев А. К. Черный Голиаф

77

В Канаде на месторождении Хэт Крик обнаружен крупнейший в мире 450-метровый угольный пласт. Интересно, что по традиционным представлениям крупные залежи угля не могли здесь возникнуть.

Токарев С. А. Погребальные обычаи, их смысл и происхождение

82

Погребальные обычаи происходят не из суеверных представлений древнего человека, а из естественного закона смены поколений.

Турилов А. А., Чернецов А. В. Новое имя в истории русской культуры

88

Русская средневековая культура во многом была анонимной. Поэтому каждое новое открытие существенно меняет бытующие представления о системе знания того времени. Иван Рыков, книжник эпохи Ивана Грозного, недавно стал известен исследователям древних рукописей.

ЗАМЕТКИ, НАБЛЮДЕНИЯ**Несис К. Н. Стреляющие органы**

98

Березкин Ю. Е. Эль-Ниньо и его последствия для археологии Перу

100

НОВОСТИ НАУКИ

47, 102

Структура земной коры в Канаде [47] • Спутниковая геодезия в Великобритании [102] • Прокеты больших космических интерферометров [102] • Кольцо вокруг Нептуна? [103] • Измерены заряды кварков [103] • Сжимаемость ядерной материи [104] • Исследуются волоконные световоды с малыми потерями [105] • Определена структура фермента [105] • Влияние липидов на опухоли [106] • Поиски вариантов холерной вакцины [106] • Моноклональные антитела в диагностике инфаркта и опухолей [107] • Биогликины повышают активность макрофагов [107] • Аспирин и инфаркт миокарда [108] • Стабилизация содержания кислорода в мышцах [108] • Курение и асимметрия мозговой активности [109] • Время восприятия эмоции [109] • Наследственность и среда в развитии ребенка [109] • Значение раннего опыта в формировании поведения [110] • Количественное исследование языка муравьев [110] • Морозоустойчивый комар [111] • Передвижение пчел и шмелей при сборе корма [111] • Канцерогенные углеводороды как стимуляторы роста [112] • Редкое растение — мандрагора [112] • Возможное влияние «ядерной зимы» на лесную экосистему [113] • Атмосферный метан в недавнем прошлом и глубокой древности [113] • Глубоководное бурение в океане продолжается [114] • Осадки на континентальных склонах [115] • Геология приальпийских озер [115] • Пересыхало ли Средиземное море? [116] • Гигантская ископаемая змея [116] • Советские археологи на Кубе [117] • Музей ЭВМ в США [117] • Охота на аляскинского волка возобновляется [117]

Роман Бениаминович Хесин

118

РЕЦЕНЗИИ

Цверева Г. К. Опыт краткой истории научно-популярной литературы (на кн.: Э. А. Лазаревич. С веком наравне)

120

Крупник И. И. Древнейшие обитатели Северо-Востока Азии (на кн.: В. В. Леонтьев. Этнография и фольклор кереков)

121

НОВЫЕ КНИГИ

124

Чернин А. Д. Звезды и физика [124] • **Баршавский В. И., Поспелов Д. А.** Оркестр играет без дирижера: размышления об эволюции некоторых технических систем и управления ими [125] • **Барашков Н. Н.** Полимерные композиты: получение, свойства, применение [125] • **Ротенберг В. С., Аршавский В. В.** Поисковая активность и адаптация [125] • **Петров В. П.** Сложные загадки простого строительного камня [126] • Мир географии: география и географы. Природная среда [126]

В КОНЦЕ НОМЕРА

Рылов А. Л., Хвесин А. Л. Как котенка в воду

127

Некорректные задачи в современной астрофизике

А. В. Гончарский, А. М. Черепашук, А. Г. Ягола

ЧТО ТАКОЕ НЕКОРРЕКТНАЯ ЗАДАЧА?

Подавляющее большинство математических задач, которые возникают при интерпретации данных физического эксперимента, относятся к классу так называемых некорректно поставленных, или, короче, некорректных задач. Требования к корректности постановки математической задачи были сформулированы в 1932 г. Ж. Адамаром. Мы их приведем на примере задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения:

$$\frac{dy}{dt} = -\alpha y, \quad y(0) = y_0.$$

Здесь $y = y(t)$, t изменяется в интервале $(0, T)$. (К такой задаче приводит, в частности, исследование процесса распада радиоактивного химического элемента.)

Решение этой задачи

$$y(t, y_0) = y_0 e^{-\alpha t}$$

удовлетворяет всем требованиям корректности по Адамару, а именно:

- 1) оно существует для любых начальных условий y_0 ;
- 2) оно единственно;
- 3) оно непрерывно зависит от начальных условий y_0 ; это означает, что малые изменения y_0 соответствуют малые (в выбранной метрике) изменения $y(t, y_0)$ — решение устойчиво по отношению к малым возмущениям входной информации y_0 .

Для некорректных задач по крайней мере одно из перечисленных условий не выполняется, причем чаще всего это происходит с условием 3, т. е. малым возмущениям входной информации могут соответствовать сколь угодно большие возмущения решения (решение неустойчиво).

До недавнего времени математики занимались в основном исследованием

корректных математических задач, поскольку преобладала точка зрения Адамара, что некорректные задачи не имеют физического смысла. И это казалось естественным. Ведь данные физического эксперимента, определяющие входную информацию в задаче интерпретации, всегда получаются с некоторой ошибкой, и решение задачи интерпретации состоит в отыскании **приближенного** решения по **приближенно** заданной входной информации. И в этой ситуации вполне резонно задать вопрос: какой же смысл имеет задача, в которой малым возмущениям входной информации (ошибкам) соответствуют сколь угодно большие возмущения решения? Парадокс, однако, заключается в том, что значительная (если не основная!) часть задач интерпретации данных физического эксперимента приводит к так называемым обратным задачам, подавляющее большинство которых некорректно поставлены¹.

Под обратной задачей понимается задача отыскания функции $z(s)$ по функции $u(x)$, получаемой путем эксперимента или наблюдений из уравнения вида

$$u(x) = A[x, z(s)],$$

где A есть некоторый оператор, устанавливающий причинно-следственную связь между $z(s)$ и $u(x)$. Функция $u(x)$ описывает следствия некоторого процесса, причина которого на математическом языке определяется функцией $z(s)$. Таким образом, по наблюдаемым следствиям $u(x)$ процесса

¹ Типичным примером обратной задачи являются задачи медицинской диагностики, когда по состоянию больного необходимо установить характер заболевания. О некорректных задачах, связанных с медицинской диагностикой, см.: Тихонов А. Н., Арсенин В. Я., Рубашов И. Б., Тимонов А. А. Первый советский компьютерный томограф. — Природа, 1984, № 4, с. 11.



Александр Владимирович Гончарский, доктор физико-математических наук, доцент факультета вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Область научных интересов — обратные задачи естествознания. Автор ряда монографий, в том числе: Численные методы решения обратных задач астрофизики (в соавторстве с А. М. Черепашуком и А. Г. Яголой). М., 1978. Лауреат премии Ленинского комсомола.



Анатолий Михайлович Черепашук, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом звездной астрофизики Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга. Научные интересы относятся к физике тесных двойных звезд, астрофотометрии и астроспектроскопии, обратным задачам астрофизики. Автор ряда монографий. Лауреат премии Ленинского комсомола. Член редколлегии журнала «Природа».



Анатолий Григорьевич Ягола, доктор физико-математических наук, доцент физического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова. Занимается некорректными и обратными задачами в естественных науках. Автор ряда монографий. Лауреат премии Ленинского комсомола.

мы должны судить о причинах $z(s)$, породивших его.

До недавнего времени при решении обратных некорректных задач полагались прежде всего на физическую интуицию, и в ряде случаев таким образом удавалось получить важную информацию. Однако такое положение вещей никак нельзя было считать удовлетворительным, когда буквально на каждом шагу приходилось сталкиваться с некорректно поставленными обратными задачами. Необходимость в математической постановке и разработке методов решения этого важнейшего для современного естествознания круга проблем становилась все более очевидной.

Решение обратной задачи обычно состоит в построении модели изучаемого

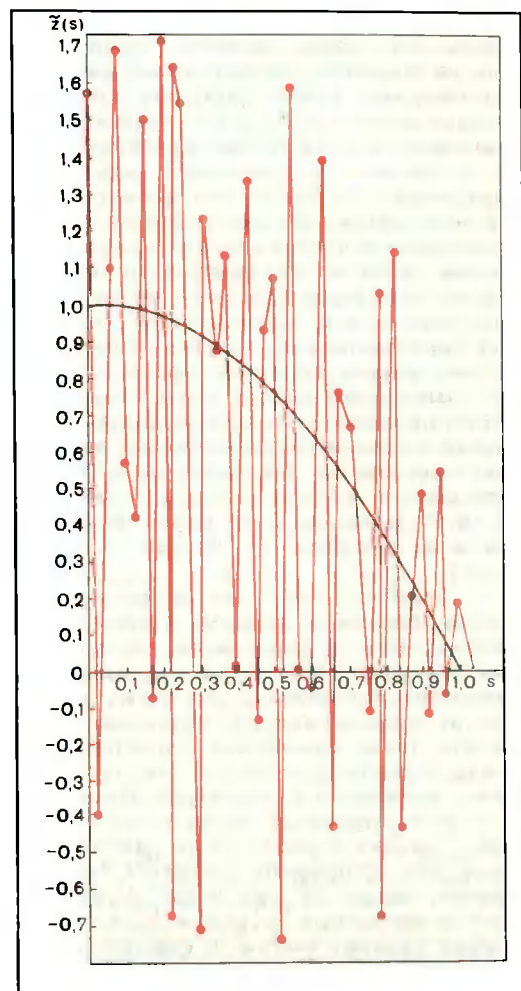
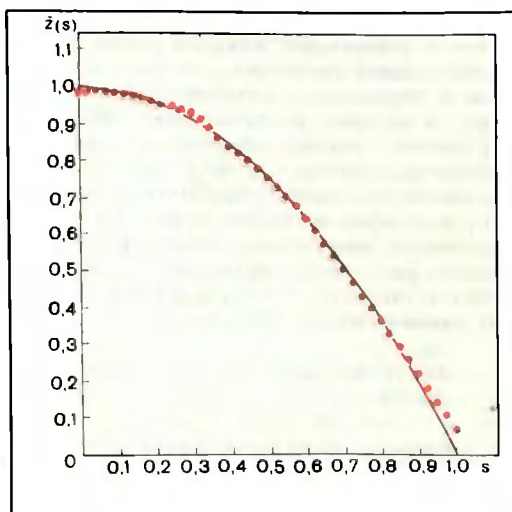
явления и дальнейшем сравнении характеристик выбранной модели с данными наблюдений. Сложность модели в подавляющем большинстве случаев не позволяет рассчитывать на получение аналитического решения обратной задачи, поэтому важнейшую роль в изучении обратных задач сыграло развитие численных методов, основанных на использовании электронно-вычислительных машин (ЭВМ). Именно благодаря ЭВМ появился новый метод познания реальных физических процессов — математическое моделирование.

Методы решения некорректных задач получили интенсивное развитие в 60-е годы, и определяющую роль в этом процессе сыграли работы А. Н. Тихонова, М. М. Лаврентьева, В. К. Иванова и др. Сейчас мож-

Приближенные решения $\tilde{z}(s)$ (показаны точками) интегрального уравнения Фредгольма первого рода

$$\int_0^1 K(x, s) z(s) ds = u(x)$$

при $K(x, s) = 1/[1 + 100(x-s)^2]$. Сплошной линией представлено точное решение $z(s)$, которое было задано заранее. Это решение подставлялось под знак интеграла и вычислялась соответствующая ему функция $u(x)$. Затем в полученную функцию $u(x)$ вносилась погрешность (3 % от максимального значения) и решалась обратная задача: находились приближенные решения $\tilde{z}(s)$. Приближенное решение, представленное на рисунке вверху, получено с помощью регуляризирующего алгоритма, использующего априорную информацию о выпуклости искомого решения. При попытке решить ту же задачу без регуляризации мы получаем сколь угодно большие отклонения приближенного решения от истинного (внизу). Это означает, что задача, которую мы решали, некорректна.



но говорить о научной школе А. Н. Тихонова, которая создала математическую теорию некорректно поставленных задач, разработала эффективные методы их решения с помощью так называемых регуляризирующих алгоритмов.

Мы уже отмечали, что при приближенно заданной входной информации некорректная задача может иметь множество сильно отличающихся друг от друга решений. Поэтому необходима дополнительная информация, позволяющая сформулировать критерий отбора приближенного решения и на его основе построить регуляризирующий алгоритм, с помощью которого удалось бы отобрать из этого множества возможных решений такое, которое в определенном смысле близко к истинному. Следует подчеркнуть, что эта дополнительная информация должна быть известна заранее, до решения соответствующей обратной задачи, и в этом смысле она является априорной по отношению к тому эксперименту или наблюдению, на основании которого ставится обратная задача. Такой априорной информацией могут быть сведения о гладкости искомого решения, его монотонности, выпуклости, принадлежности к конечно-параметрическому семейству и т. п. Регуляризирующие алгоритмы позволяют получить устойчивое приближение к истинному решению некорректной задачи, иными словами, при стремлении ошибки входной информации к нулю приближенное решение сходится к истинному.

Применение регуляризирующих алгоритмов при обработке экспериментальной информации позволяет существенно повысить точность определения характеристик изучаемых физических явлений.

Причем достигается это не за счет усложнения и усовершенствования самой экспериментальной установки, что зачастую связано с огромными материальными затратами, а за счет использования ЭВМ при обработке экспериментальных данных. Комплекс «прибор+ЭВМ» с запрограммированной системой обработки информации, в основе которой лежат регуляризирующие алгоритмы, позволяет значительно расширить возможности используемого прибора, повысить в ряде случаев его разрешающую способность.

АСТРОФИЗИКА И ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ

Большое поле приложения современных методов решения некорректно поставленных задач дает астрофизика. Астрофизика в настоящее время является в основном наблюдательной наукой. Исследователь не может активно воздействовать на процессы, происходящие на далеких звездах и в галактиках, ему приходится делать заключения о физических характеристиках весьма удаленных объектов по их косвенным проявлениям, доступным измерениям на Земле или вблизи Земли (на космических станциях). Эти косвенные проявления являются следствиями тех процессов, о природе которых приходится судить при анализе данных наблюдений. Тем самым для интерпретации полученных наблюдательных данных астрофизик должен решать обратные задачи.

Широкий и чрезвычайно важный класс обратных задач астрофизики связан с интерпретацией наблюдений тесных двойных звездных систем. Классические работы в этой области выполнены как в нашей стране (В. П. Цесевич, Д. Я. Мартынов и др.), так и за рубежом (Х. Рессел, З. Копал и др.).

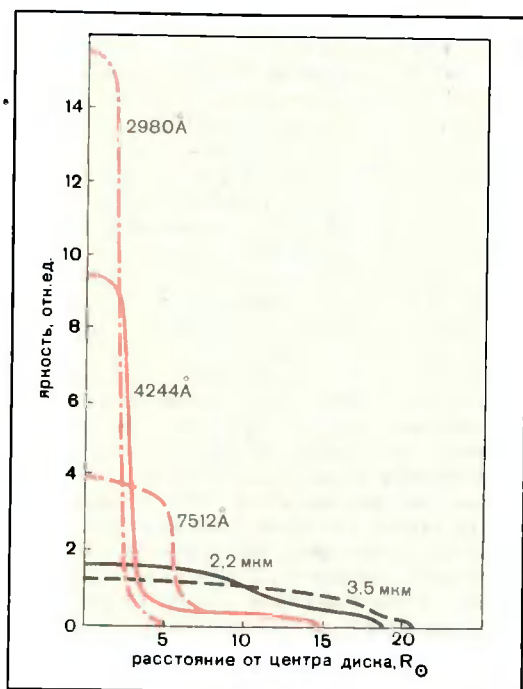
Подобно тому как в отношениях между близкими людьми раскрываются многие черты их характеров, так и изучение движения пары звезд под действием взаимного притяжения, различных эффектов их взаимодействия, позволяет определить такие важнейшие характеристики звезд в двойных системах, как масса, радиус, температура, структура атмосферы и т. п. У одиночных звезд такой полный набор данных определить не удастся, поэтому для астрономов считается большой удачей, когда те или иные интересные их необычные объекты входят в состав тесных двойных систем. К счастью, свыше половины всех звезд Галактики принадле-

жат именно двойным, или кратным, системам. Среди них есть такие, у которых плоскости орбит «удачно» ориентированы по отношению к лучу зрения земного наблюдателя, так что дважды за орбитальный период в системе происходят затмения компонентов. Сейчас известно свыше 4000 затменных двойных систем, хотя, конечно, реальное их число много больше наблюдаемого: обнаружить наличие относительно кратковременных затмений весьма трудно. В состав тесных двойных систем входят объекты различной природы: «нормальные» звезды главной последовательности, сверхгиганты, звезды Вольфа — Райе, субкарлики, субгиганты, белые карлики, нейтронные звезды и, по-видимому, черные дыры.

Основная информация о звездах двойной системы извлекается из наблюдательных данных двух типов: кривой блеска и кривой лучевых скоростей. Кривая блеска описывает зависимость от времени освещенности (блеска), создаваемой затменной двойной системой у поверхности Земли; кривая лучевых скоростей — зависимость от времени скорости движения каждой звезды по лучу зрения (она определяется по доплеровскому смещению спектральных линий). Изучение кривых блеска и кривых лучевых скоростей тесных двойных систем приводит к ряду обратных задач, решение которых современными методами регуляризации представляет важнейшую информацию о характеристиках звезд и, следовательно, об их природе и эволюционном пути.

ЗВЕЗДЫ ВОЛЬФА — РАЙЕ В ТЕСНЫХ ДВОЙНЫХ СИСТЕМАХ

Звезды Вольфа — Райе (WR), названные так в честь их первооткрывателей — французских ученых М. Вольфа и Ж. Райе, были обнаружены более ста лет назад. Мы будем рассматривать лишь звезды WR, принадлежащие к так называемой плоской составляющей населения Галактики, т. е. те, которые распределены преимущественно вблизи галактической плоскости. Среди ста миллиардов звезд Галактики таких звезд известно около 200. Почему астрономы уделяют столь пристальное внимание всестороннему изучению именно этих объектов? Дело в том, что в оптическом спектре звезд WR поражает одновременное существование интенсивных линий излучения атомов и ионов водорода, гелия, а также азота, углерода и кислорода в разных стадиях ионизации. Для существования столь высокой степени ионизации необ-



Распределение яркости по диску звезды Вольфа — Райе в ультрафиолетовом ($\lambda=2980$ Å), оптическом ($\lambda=4244$ Å и 7512 Å) и инфракрасном ($\lambda=2,2$ мкм и $3,5$ мкм) диапазонах спектра, восстановленное из анализа кривых блеска системы V444 созвездия Лебедь на множестве монотонных неограниченных функций. Центральные части диска звезды WR голубее и, следовательно, горячее периферийных. Радиус собственно звезды (ядра) WR составляет $3R_{\odot}$, а радиус протяженной расширяющейся атмосферы, масса которой порядка одной миллиардной массы ядра WR, близок к $20R_{\odot}$. Зная распределение яркости по диску в разных длинах волн, можно оценить температуру излучения звезды. В центральной части диска ($R=3R_{\odot}$) она очень высока — около $100\,000$ К, в то время как средняя температура излучения со всего диска около $20\,000$ К, что связано с преобладающим вкладом низкотемпературного (порядка 7000 К) излучения оболочки. Излучение центральных частей диска «тонет» в излучении оболочки.

Наблюдательные данные, относящиеся к оптическому диапазону ($\lambda=4244$ Å и 7512 Å), получены авторами статьи. Их интерпретация стимулировала новые наблюдения. Группой Л. Хартмана (США) были получены данные, относящиеся к инфракрасному диапазону ($\lambda=2,2$ мкм и $3,5$ мкм), а с помощью аппаратуры, установленной на американском спутнике ОАО-2, группой Дж. Итона (США) были выполнены наблюдения для $\lambda=2980$ Å.

ходима температура в сотни тысяч градусов, в то же время непрерывный спектр звезд WR в оптическом диапазоне грубо может быть описан излучением абсолютно черного тела со средней температурой, не превышающей $10\text{--}20$ тыс. градусов. Это свидетельствует о сильном отклонении вещества звезд WR от состояния термодинамического равновесия. Наблюдательные

данные и их анализ с определенностью указывают на аномалии химического состава звезд WR, в частности на значительный избыток гелия по сравнению с его содержанием в обычных звездах. Впрочем, делать какие-либо однозначные выводы из анализа наблюдений одиночных звезд WR — задача очень трудная. Собственно звезда WR «погребена» внутри мощной протяженной атмосферы, радиально расширяющейся со скоростью в тысячи километров в секунду.

Если мы посмотрим на Солнце, то увидим, что его диск резко очерчен. Это связано с тем, что толщина атмосферы Солнца, где формируется видимое излучение, составляет около 300 км, т. е. порядка одной десятичной его радиуса². А вот у звезды WR атмосфера простирается на много миллионов километров и в несколько раз превышает радиус собственно звезды. При этом масса атмосферы ничтожно мала — в миллиард раз меньше массы центральной звезды. Ситуацию можно сравнить с фонарем в тумане: размеры ореола гораздо больше размеров фонаря. Не удивительно поэтому, что многие исследователи, основываясь на изучении одиночных звезд WR (когда измеряется полное излучение от всего диска звезды с протяженной атмосферой), приходили к выводу, что радиусы таких звезд велики (порядка $20 R_{\odot}$), а эффективные температуры относительно низки (порядка $30\,000$ К) и явно недостаточны для возбуждения линейчатого спектра излучения. Это приводило к довольно искусственному предположению о весьма высокой энергии теплового движения электронов в атмосфере, соответствующей температуре в сотни тысяч градусов. При этом механизм нагрева вещества атмосферы до столь высоких температур уподоблялся нетепловому механизму нагрева солнечной хромосферы и короны.

С 1964 г. авторы данной статьи начали изучать звезды WR в затменных двойных системах. Когда происходит затмение звезды WR ее спутником — нормальной звездой спектрального класса³ O или B, кривая

² В дальнейшем для обозначения радиуса и массы Солнца мы будем пользоваться общепринятыми символами $R_{\odot}$ и $M_{\odot}$. Напомним, что $R_{\odot}=7 \cdot 10^{10}$ см; $M_{\odot}=2 \cdot 10^{33}$ г.

³ Спектральный класс звезды определяется по ее линейчатому спектру и характеризует температуру поверхности звезды T. Звездам спектрального класса O соответствует $T \approx 30\,000\text{--}40\,000$ К; звездам класса B — $T \approx 20\,000$ К. Солнце имеет спектральный класс G ($T \approx 6\,000$ К).

блеска содержит информацию не только о суммарной светимости звезды WR, но и о распределении яркости по ее диску. Известно, что даже в самый крупный телескоп все звезды (кроме Солнца) выглядят, как точки. Из-за колоссальной удаленности звезд WR их диски нельзя увидеть (в отличие от того, как мы видим диск Солнца и можем изучать детали его поверхности). Тем не менее анализ затмений в двойных системах, содержащих звезды WR, дает уникальную возможность восстановить распределение яркости по диску звезды WR и тем самым как бы нарисовать его изображение.

В общем случае задача определения физических характеристик звезд из анализа кривой блеска затменной двойной системы сводится к решению двух интегральных уравнений Фредгольма первого рода

$$u(t) = \int_a^b K(t, \xi) J(\xi) d\xi \quad (1)$$

и нелинейного алгебраического уравнения, описывающего блеск двойной системы вне затмений. В уравнении (1) функция $u(t)$ есть наблюдаемое изменение блеска двойной системы во время затмений, функция $K(t, \xi)$ — ядро уравнения — также известна: она описывает форму области перекрытия дисков компонентов (ξ — полярное расстояние на диске, t — угол относительного поворота компонентов, пропорциональный времени). Задача решения интегрального уравнения (1) представляет собой типичную обратную задачу — по наблюдаемым следствиям процесса затмения компонентов двойной системы — функции $u(t)$ — необходимо определить распределение яркости по диску звезды WR — функцию $J(\xi)$. Эта задача относится к классу некорректно поставленных.

Классическая методика интерпретации кривых блеска затменных двойных систем основывалась на предположении о том, что толщина атмосферы звезд мала по сравнению с их радиусом. Теория тонких звездных атмосфер дает аналитическое выражение для распределения яркости $J(\xi)$ как функции трех параметров: яркости в центре диска звезды (J_0), радиуса звезды (r) и так называемого коэффициента потемнения к краю диска (x). Аналитическое выражение для $J(\xi)$ подставляется в уравнение (1), которое в результате интегрирования сводится к системе нелинейных алгебраических уравнений относительно конечного, причем небольшого, числа искомых параметров. Это позволяет обойти

трудности, связанные с некорректностью обратной задачи (1).

В случае звезд WR мы имеем дело с протяженными атмосферами. Сложность физических процессов и неопределенность моделей протяженных звездных атмосфер не позволяют применить в данном случае классический способ параметризации искомой функции $J(\xi)$ при решении обратной задачи (1). Вместе с тем о функции $J(\xi)$ имеется в данном случае естественная априорная информация качественного характера: ее можно считать монотонной и неотрицательной. Это позволило авторам по-новому поставить задачу интерпретации кривых блеска затменных двойных систем и на основе современных методов регуляризации некорректно поставленных задач разработать эффективные численные алгоритмы ее решения на ЭВМ. Некорректность задачи (1) была побеждена, и получено ее устойчивое решение. Это стимулировало наблюдения всех известных затменных двойных звезд с компонентами WR, а полученные наблюдательные данные интерпретировались с помощью новой методики.

В результате решения обратной задачи интерпретации кривых блеска затменных двойных звезд оказалось возможным отделить излучение собственно звезды WR от излучения ее протяженной атмосферы и тем самым определить истинный радиус, температуру и светимость звезды WR. Оказалось, что, в то время как полный радиус видимой атмосферы звезды WR равен $10-20 R_\odot$, радиус собственно звезды WR составляет всего лишь около трех солнечных радиусов, а температура близка к $100\,000\text{ K}$! Относительно низкая температура излучения всего диска звезды WR связана с низкотемпературным комбинационным излучением протяженной атмосферы, вклад которой в видимой области достигает 80 %.

ПРИРОДА И ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЕЗД ВОЛЬФА — РАЙЕ В ТЕСНЫХ ДВОЙНЫХ СИСТЕМАХ

Новые результаты по звездам WR, полученные из анализа затменных двойных систем, позволяют прийти к заключению, что звезды WR в тесных двойных системах представляют собой гелиевые остатки первоначально более массивных звезд, образовавшиеся в результате бурного обмена веществом между компонентами двойной системы. Согласно существующим представлениям, появление у массивной звезды

особенностей, характерных для звезд WR (гелиевый химический состав, высокая эффективная температура, относительно малый радиус, мощные линии излучения в спектре), связано с сильной потерей ею вещества. Проведя «бурную молодость», звезды WR быстро стареют. Поэтому, несмотря на достаточно «юный» возраст (порядка 10^6 лет при начальной массе в 30—60 $M_{\odot}$), они находятся в поздней стадии эволюции после стадии главной последовательности на диаграмме «спектральный класс — светимость» Герцшпрунга — Рассела. Примерно через 10^5 лет после сброса водородной оболочки и обнажения гелиевого ядра образовавшаяся звезда WR должна коллапсировать, а поскольку ее масса значительна (10—20 $M_{\odot}$), в результате коллапса может образоваться нейтронная звезда или черная дыра.

Наличие у звезды WR горячего ядра малого радиуса дает основания предполагать, что главной причиной возбуждения интенсивных линий излучения в ее спектре является рекомбинационный механизм, качественно подобный тому, что имеет место в планетарных туманностях. Вещество протяженной атмосферы ионизируется коротковолновым излучением горячего ядра, после чего происходит процесс рекомбинации, приводящий к появлению интенсивных линий излучения в спектре. Такая модель явления WR была предложена еще в 30-х годах канадским ученым К. Билсом и в дальнейшем развивалась в работах В. А. Амбарцумяна, В. В. Соболева, В. Г. Горбачево, С. В. Рублева и др. Как следует из нашего исследования затменных двойных звезд с компонентами WR, такая модель является наиболее приемлемой с точки зрения соответствия наблюдениям. Высокая температура собственно звезды WR приводит к тому, что ускорение вещества протяженной атмосферы звезды до скоростей в тысячи километров в секунду и большая потеря массы (порядка одной сотысячной солнечной массы в год) контролируется давлением излучения, уравнивающим в этом случае гравитационное притяжение.

В последние годы в работах, выполненных в СССР (Астросвет АН СССР, ГАИШ МГУ) и за рубежом (Польша, Голландия), был развит сценарий эволюции тесных двойных систем, в котором учитывается обмен веществом между звездами — компонентами системы. Согласно этому сценарию, стадия звезды WR в массивной двойной системе может существовать дважды.

В первый раз звезда WR появляется

в двойной системе, когда вещество более массивной звезды перетекает на вторую звезду, в результате чего обнажается гелиевое ядро, характерное для звезд WR. Образовавшаяся первичная звезда WR затем коллапсирует, и на ее месте образуется нейтронная звезда или черная дыра. Теперь уже вторая звезда системы, расширяясь в процессе своей эволюции, может перетечь на объект, образовавшийся на месте первой звезды WR. В двойной системе возникает звезда WR «второго поколения».

Результаты решения обратных задач интерпретации двойных затменных систем с компонентами — звездами WR подтверждает этот эволюционный сценарий. Радиусы, массы и эффективные температуры звезд WR, найденные нами из анализа затмений, согласуются с теоретическими предсказаниями, сделанными в рамках этого сценария. Более того, в последнее время открыты звезды WR «второго поколения»: оказалось, что многие звезды WR, считавшиеся ранее одиночными, на самом деле входят в тесные двойные системы, содержащие спутники малой массы (1—2 $M_{\odot}$), которые могут быть нейтронными звездами. Поиски нейтронных звезд и черных дыр, являющихся спутниками звезд WR, в настоящее время ведутся в отделе звездной астрофизики ГАИШ, а также в Канаде (группой А. Моффата), ФРГ (группой У. Сегевиса) и Мексике (группой К. Фирмани).

РЕНТГЕНОВСКИЕ ДВОЙНЫЕ СИСТЕМЫ

С бортов специальных спутников в последние годы открыты сотни компактных рентгеновских источников, большинство которых представляют собой аккрецирующие нейтронные звезды, а в отдельных случаях, по-видимому, черные дыры в тесных двойных системах.

Представим себе двойную систему, состоящую из нормальной звезды и нейтронной звезды или черной дыры. В дальнейшем, для краткости, нейтронные звезды и черные дыры будем называть релятивистскими объектами, поскольку для них существенны эффекты общей теории относительности. Если радиус нормальной звезды достаточно велик, приливное воздействие релятивистского объекта приводит к искажению формы звезды — она становится эллипсоидальной и даже грушевидной. Предел устойчивости внешних слоев звезды в двойной системе определяется так на-

зываемой внутренней критической полостью Роша (или просто полостью Роша). Если поверхность звезды приближается к границе полости Роша, то вещество внешних частей звезды начинает перетекать на вторую звезду, в данном случае — релятивистский объект. Вокруг релятивистского объекта образуется вращающаяся дискообразная оболочка (аккреционный диск). Взаимное трение различных слоев диска приводит к потере ими углового момента и падению (аккреции) вещества из диска на центральный релятивистский объект. Огромный гравитационный потенциал на поверхности нейтронной звезды или вблизи черной дыры обуславливает высокую скорость движения вещества внутренних частей диска, близкую к скорости света. Это, в свою очередь, приводит к разогреву плазмы до температур в десятки миллионов градусов и мощному (10^{36} — 10^{38} эрг/с) выделению энергии в виде излучения рентгеновского диапазона¹.

По светимости, спектру и переменности рентгеновского излучения можно многое узнать о характеристиках релятивистских объектов. В то же время и анализ кривых блеска и кривых лучевых скоростей рентгеновских двойных систем в оптическом диапазоне спектра дает много ценной информации об этих объектах. В частности, решая обратные задачи интерпретации кривых блеска и кривых лучевых скоростей тесных двойных систем, можно определять основные характеристики звезд, и прежде всего их массы. Поскольку именно масса является важнейшим параметром, определяющим состояние звезды в конце ее эволюции, тесные двойные звезды (в особенности рентгеновские двойные системы) сослужили большую службу релятивистской астрофизике.

ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ КРИВЫХ БЛЕСКА РЕНТГЕНОВСКИХ ДВОЙНЫХ СИСТЕМ

Существует несколько причин, вызывающих переменность блеска (в оптиче-

ском диапазоне) рентгеновских двойных систем².

Во-первых, при движении по орбите вокруг своего релятивистского спутника нормальная (оптическая) звезда, имеющая форму эллипсоида, меняет свою проекцию на так называемую картинную плоскость (плоскость, перпендикулярную лучу зрения земного наблюдателя). Это приводит к изменению блеска системы (так называемому эффекту эллипсоидальности), так что дважды за период обращения по орбите блеск достигает своего минимального и максимального значений.

Во-вторых, мощное рентгеновское излучение аккрецирующего релятивистского объекта прогревает поверхность нормальной звезды. По этой причине те части поверхности звезды, которые обращены к релятивистскому объекту, имеют большую температуру (и, следовательно, большую яркость) по сравнению со всеми остальными. В результате изменяется блеск рентгеновской двойной системы — за период обращения по орбите наблюдается один минимум и один максимум (эффект отражения).

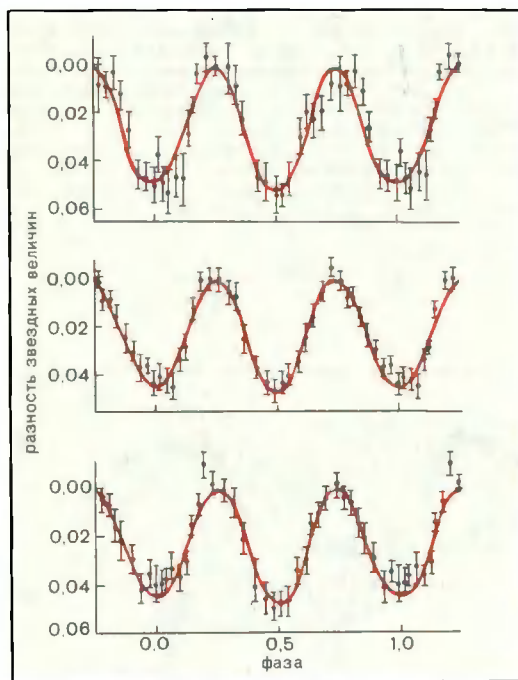
Наконец, рентгеновское излучение центральных частей аккреционного диска может перехватываться периферийными частями диска, нагревать их, в результате чего они будут излучать в оптическом диапазоне. Это приводит к изменениям блеска рентгеновской двойной системы, связанным с затмениями диска звездой и звезды диском (эффекты затмений).

В последнее время был выявлен еще один тип оптической переменности рентгеновских двойных систем — так называемая прецессионная переменность. Аккреционный диск, локализованный вокруг релятивистского объекта, может и не лежать в плоскости орбиты, медленно изменяя свою ориентацию в пространстве (прецессируя), что также приводит к изменению суммарного блеска рентгеновской двойной системы с периодом, много большим орбитального³. Дело в том, что взрыв сверхновой звезды, в результате которого образовался релятивистский объект, может на-

¹ Впервые идея о том, что аккреция вещества нормальной звезды на релятивистский объект в двойной системе может приводить к появлению мощного рентгеновского источника, была высказана в 1966 г. Я. Б. Зельдовичем и И. Д. Новиковым. В дальнейшем теория дисковой аккреции вещества на нейтронные звезды и черные дыры в двойных системах была развита в работах Н. И. Шакуры, Р. А. Сюняева, И. Д. Новикова, К. Торна, Дж. Прингла и М. Риса.

² Впервые объяснение причин оптической переменности рентгеновских двойных систем было дано в работах: Лютыи В. М., Сюняев Р. А., Черепашук А. М. — Астрон. ж., 1973, т. 50, с. 3; 1974, т. 51, с. 1150.

³ На возможность прецессии аккреционного диска в рентгеновской двойной системе было указано в работе: Шакура Н. И. — Астрон. ж., 1972, т. 49, с. 921.



Теоретические и наблюдаемые кривые блеска системы Лебедь X-1 в ультрафиолетовых (вверху), синих (в центре) и желтых лучах. Точками представлены наблюдательные данные, сплошными линиями — теоретические кривые блеска, рассчитанные на ЭВМ при решении обратной задачи путем подбора оптимальных значений искоемых параметров, в частности $q = m_x/m_y$ [учитывалось, что расстояние до системы не более 2 кпк]. Оказалось, что теоретические кривые наиболее близки к наблюдаемым при $q = 0.4$. Это позволило оценить значения массы «кандидата № 1» в черные дыры: $m_1 > 7 M_\odot$

рушить симметрию истечения вещества от нормальной звезды к релятивистскому объекту, что и приводит к тому, что плоскость аккреционного диска не совпадает с плоскостью орбиты.

В кривой блеска рентгеновской двойной системы находят отражение все четыре описанных эффекта, из-за которых возникает оптическая переменность. Задача состоит в том, чтобы, используя соответствующую модель рентгеновской двойной системы, определить из этой кривой блеска характеристики релятивистского объекта.

Модель рентгеновской двойной системы содержит небольшое число искоемых параметров, поскольку у нормальной звезды и аккреционном диске имеется много априорной информации, вытекающей, в частности, из теории тонких звездных атмосфер и теории дисковой аккреции ве-

щества на релятивистские объекты. Поэтому трудности, связанные с некорректностью соответствующей обратной задачи, в этом случае снимаются.

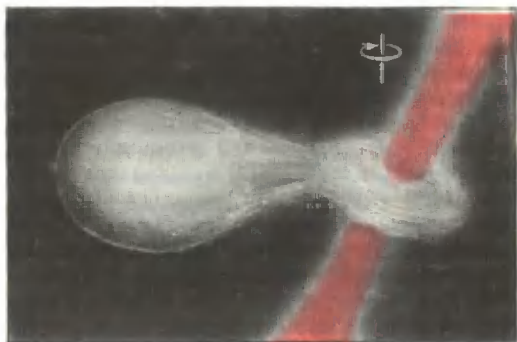
Важнейший параметр рентгеновской двойной системы — это отношение масс компонентов $q = m_x/m_y$ (m_x — масса релятивистского объекта, m_y — масса нормальной звезды). Определение значения q из решения обратной задачи дает возможность (используя результаты анализа кривой лучевых скоростей нормальной звезды — так называемую функцию масс двойной системы) определить массы компонентов m_x и m_y . Иными словами, решение обратных задач интерпретации кривых блеска рентгеновских двойных систем позволяет «взвешивать» релятивистские объекты и по величине массы m_x судить, в частности, о том, может ли данный объект рассматриваться как кандидат в черные дыры.

Авторами были созданы специальные алгоритмы решения обратной задачи интерпретации кривых блеска рентгеновских двойных систем в рамках модели, зависящей от конечного числа параметров. Эти алгоритмы позволяют не только определять значения параметров модели, но и находить области неопределенности (ошибки) этих параметров, обусловленные конечной точностью измерения кривых блеска (ошибками наблюдений). Кроме того, были выполнены наблюдения рентгеновских двойных систем разных типов, в том числе расположенных на Южном небе с использованием обсерваторий Маунт-Стромло и Сайддинг Спринг Австралийского национального университета. Анализ этих данных новыми методами привел к ряду интересных результатов, в частности были обнаружены новые кандидаты в черные дыры.

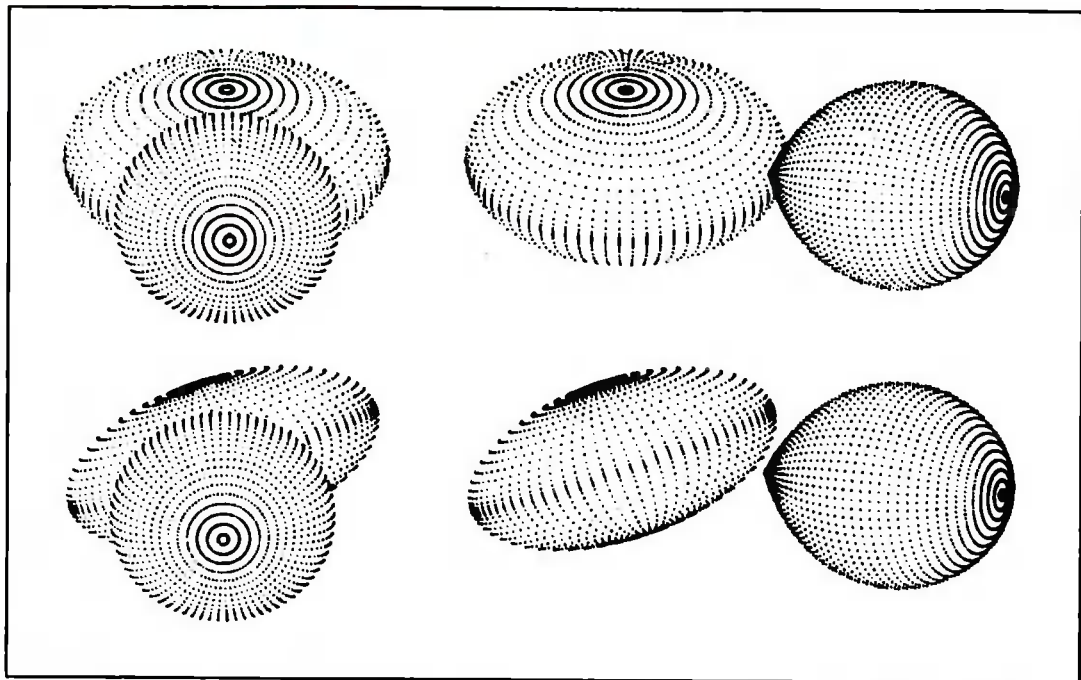
НОВЫЕ КАНДИДАТЫ В ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ

По современным представлениям, звезда в конце своей эволюции может превратиться либо в белый карлик (если в конце эволюции ее масса $m \leq 1.4 M_\odot$), либо в нейтронную звезду (если $1.4 M_\odot < m < 2-3 M_\odot$), либо в черную дыру (если $m > 2-3 M_\odot$). Проблема обнаружения и исследования черных дыр является одной из важнейших в современном естествознании, вот почему поисками этих удивительных объектов астрофизики уделяют огром-

⁷ Подробнее о свойствах черных дыр см., напр.: Киржниц Д. А., Фролов В. П. Черные дыры, термодинамика, информация. — Природа, 1981, № 11, с. 2.



Модель объекта SS 433, построенная на основе анализа фотометрических и спектральных наблюдений (вверху). Внизу — идеализированная математическая модель SS 433, используемая при решении обратной задачи интерпретации кривых блеска (построена с помощью ЭВМ). Изображены проекции модели на картинную плоскость в разных фазах прецессии аккреционного диска. На основе этой модели удалось оценить массу релятивистского объекта ($m_x > 6M_\odot$), расположенного в центре прецессирующего аккреционного диска, а также параметры аккреционного диска.

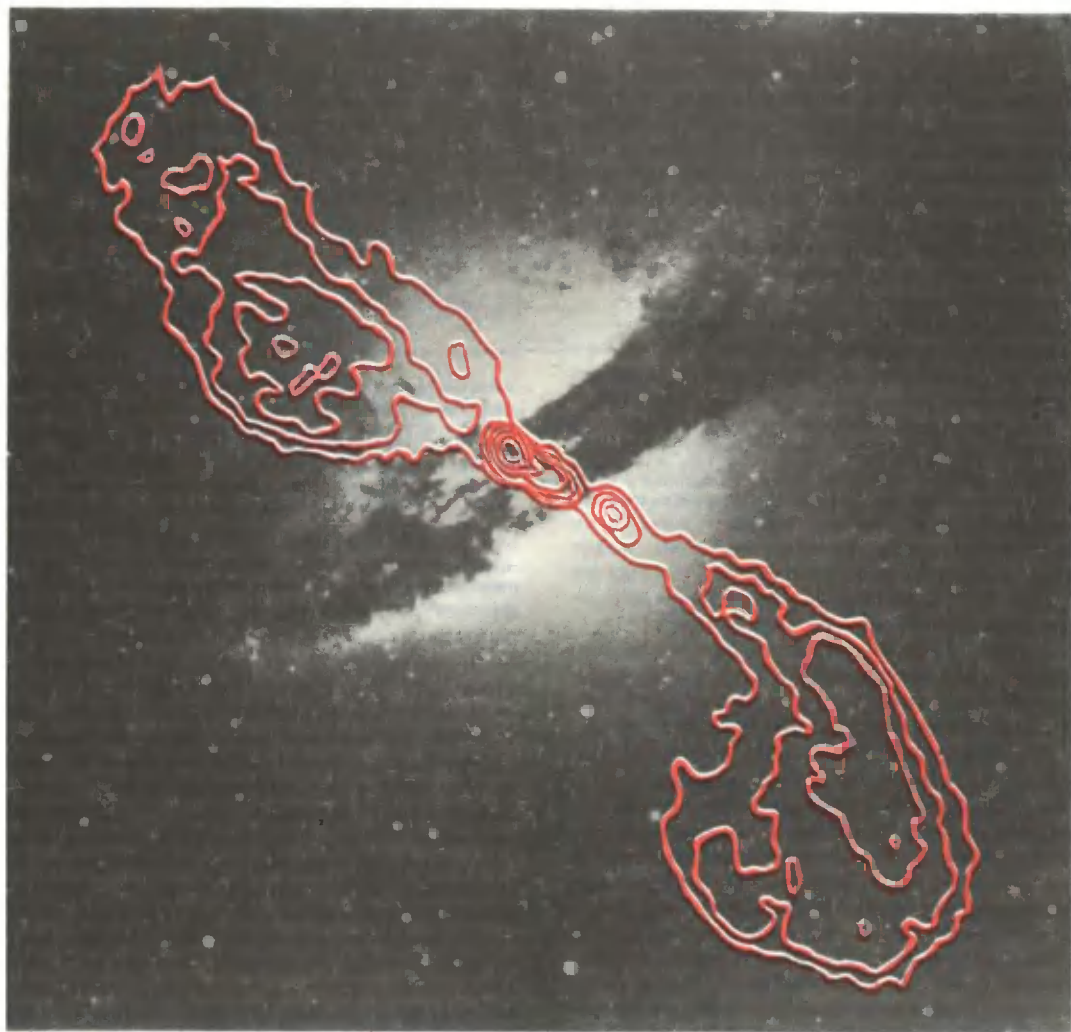


ное внимание. А проблема эта, как оказалось, далеко не простая.

До последнего времени, по-существу, единственным реальным кандидатом в черные дыры звездной массы являлся знаменитый рентгеновский источник Лебедь X-1. Это — рентгеновская двойная система, состоящая из нормальной звезды — сверхгиганта спектрального класса В0 — и релятивистского объекта, масса которого оценивается⁸ приблизительно в $10 M_\odot$.

⁸ Первая оценка массы вероятной черной дыры в системе Лебедь X-1 ($m_x > 5,6 M_\odot$) с использованием кривой блеска и функции масс нормальной звезды была выполнена в работе: Лютый В. М., Сюняев Р. А., Черепашук А. М. — Астрон. ж., 1973, т. 50, с. 3.

Вот уже свыше 10 лет релятивистский объект в системе Лебедь X-1 расценивается как кандидат в черные дыры. За это время были открыты сотни рентгеновских двойных систем, примерно у десятка из них удалось выполнить измерения масс релятивистских объектов m_x . Однако во всех случаях эти значения оказывались не выше $2 M_\odot$, т. е. верхнего предела масс для нейтронных звезд. Кроме того, большинство открытых рентгеновских источников оказались рентгеновскими пульсарами. Это непосредственное доказательство того, что они есть не что иное, как быстровращающиеся нейтронные звезды. Поиски черных дыр, таким образом, стали напоминать «охоту» за бриллиантами, когда приходится перерабатывать горы породы



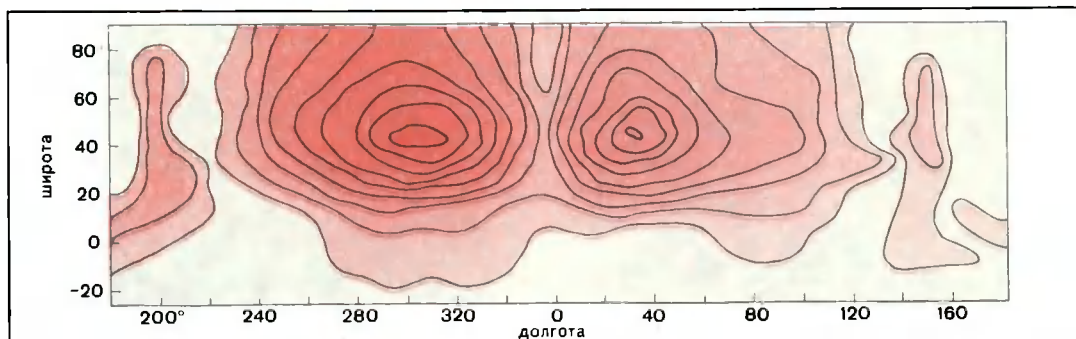
Оптическое изображение галактики Центавр-А, на которое наложено ее радиоизображение, полученное на радиотелескопе VLA группой Дж. Бернса (США). В радиодиапазоне видны две противоположно направленные струи вещества, истекающие из центра галактики, которые переходят в радиооблака. Расстояние от одного конца радиоструктуры до другого 6000 световых лет. Пересекающая галактику темная полоса — проекция дискообразной оболочки, состоящей из пыли, газа и скоплений звезд. Ориентация радиоструктуры, исходящей из центра пылевой полосы, примерно совпадает с осью вращения этой дискообразной оболочки.

(нейтронных звезд), чтобы найти один драгоценный камень.

Следует еще раз подчеркнуть, что в настоящее время мы можем говорить лишь о кандидатах в черные дыры. Действительно, решающими аргументами в поль-

зу того, что мы нашли реальную черную дыру, были бы три факта:

- 1) масса объекта превышает $3 M_{\odot}$;
- 2) радиус объекта должен быть равен гравитационному радиусу $r_g = 2Gm/c^2$, где m — масса объекта, c — скорость света, G — гравитационная постоянная. При $m = 10 M_{\odot}$ гравитационный радиус $r_g = 30$ км — по астрономическим масштабам величина ничтожно малая, практически не поддающаяся прямым измерениям;
- 3) на расстоянии r_g от центра черной дыры должна происходить остановка хода времени с точки зрения внешнего наблюдателя (наличие у черной дыры так называемого горизонта событий радиусом r_g). Напомним также, что на расстоянии r_g от центра черной дыры вторая космическая ско-



Распределение концентрации кремния по видимой поверхности Ар-звезды CU в созвездии Девы, полученное в результате решения обратной задачи интерпретации переменных профилей линий поглощения Si II ($\lambda=3862$ Å). Видны два пятна, в которых содержание кремния превышает нормальное в сотни раз. [Сферическая поверхность звезды развернута в прямоугольник.]

рость равна скорости света. Это означает, что из черной дыры никакой сигнал, даже свет, не может вырваться наружу.

Из анализа рентгеновских двойных систем мы можем надежно оценить лишь массу релятивистского объекта. На радиус этого объекта из наблюдений можно получить лишь ограничение сверху. Например, радиус кандидата в черные дыры в системе Лебедь X-1, оцениваемый по быстрой иррегулярной переменности рентгеновского излучения, не превышает 1000 км, т. е. почти в 30 раз больше r_g . Проверить же выполнение третьего условия — наличие у релятивистского объекта горизонта событий — с помощью современных средств астрономических наблюдений пока не представляется возможным. Поэтому следует соблюдать осторожность в выводах и говорить лишь о кандидатах в черные дыры.

В 1983 г. поступило сообщение, что канадские астрономы Д. Крэмpton, А. Каули и Дж. Хатчингс открыли второго кандидата в черные дыры. Им оказалась рентгеновская двойная система LMC X-3 (из Большого Магелланова Облака — ближайшей к нам галактики, видимой в Южном полушарии). Решение обратной задачи интерпретации оптической кривой блеска этой системы совместно с анализом кривой лучевых скоростей позволило нам сделать вывод, что масса рентгеновского источника LMC X-3 превышает $7 M_\odot$ и, в отличие от

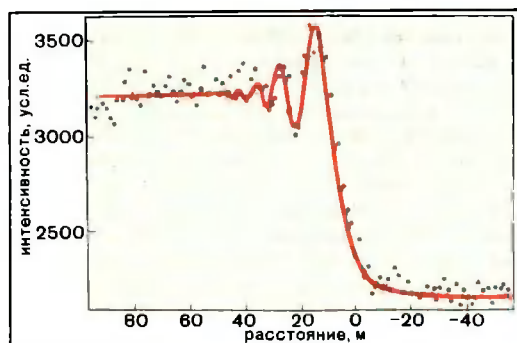
системы Лебедь X-1, примерно в два раза превосходит массу оптической звезды.

Свидетельства в пользу существования третьего кандидата в черные дыры были получены нами совсем недавно, при интерпретации оптических наблюдений «загадки века» — уникального объекта SS 433⁹.

Из анализа разнообразных наблюдательных данных стало ясно, что SS 433, так же как и Лебедь X-1, представляет собой рентгеновскую двойную систему. Разница лишь в том, что нормальная звезда в системе SS 433 в результате ядерной эволюции расширилась настолько, что переполняет свою критическую полость Роша и перетекает на релятивистский объект в очень бурном темпе. Это приводит к формированию вокруг релятивистского объекта аккреционного диска, непрозрачного для рентгеновского излучения. Все рентгеновское излучение, образующееся при аккреции вещества внутренних частей диска, «перерабатывается» в излучение оптического диапазона. Таким образом, прецессирующий аккреционный диск в системе SS 433 представляет собой яркий оптический объект. Причем давление излучения его внутренних частей превышает силу гравитационного притяжения (диск находится в режиме сверхкритической аккреции). Это приводит к ускорению вещества внутренних частей диска — оно вырывается перпендикулярно плоскости аккреционного диска в виде двух узконаправленных (коллимированных) газовых струй. Температура газа в струях сравнительно низка (порядка 10 000 К), а скорость 80 000 км/с, т. е. более одной четвертой скорости света!

К настоящему времени накоплен обширный наблюдательный материал, с по-

⁹ Этот объект в последние годы находится в центре внимания исследователей. См.: Колыхалов П. И., Любарский Ю. Э. Уникальный объект SS433. — Природа, 1981, № 12, с. 19.



Наблюдаемая (точки) и теоретические кривые блеска при затмении Луной звезды 61b в созвездии Тельца (по оси абсцисс отложено расстояние от края Луны до проекции света звезды на плоскость лунного диска). Виден эффект дифракции света звезды на краю диска Луны, проявляющийся в чередовании максимумов и минимумов интенсивности излучения перед входом в затмение. Высота дифракционных максимумов тем меньше, чем больше угловой диаметр звезды. Решение обратной задачи интерпретации кривой блеска дает для углового диаметра звезды значение 0,0028 угл. с с неопределенностью в 0,001 угл. с.

мощью которого удалось построить детальные кривые блеска SS 433 в разных фазах прецессии аккреционного диска. Интерпретацию этих кривых блеска можно проводить, как и в случае систем Лебедь X-1 и LMC X-3, в рамках достаточно простой параметрической модели, с той лишь разницей, что здесь необходимо учитывать влияние прецессирующего сверхкритического аккреционного диска. Результаты решения соответствующей обратной задачи дают нам основания полагать, что масса релятивистского объекта в системе SS 433 превышает $6 M_{\odot}$. Это позволяет зачислить объект SS 433 кандидатом № 3 в черные дыры.

Следует отметить, что в ядрах галактик и квазарах также наблюдаются узконаправленные коллимированные выбросы газа, которые, как и в случае SS 433, могут быть связаны со сверхкритической аккрецией вещества на массивную черную дыру. По-видимому, в сверхкритическом аккреционном диске объекта SS 433 в миниатюре происходят те же процессы, что и в этих гигантских космологических объектах. Тот факт, что объект SS 433 расположен от нас сравнительно недалеко, в пределах нашей Галактики, и в особенности то, что в нем наблюдаются затмения диска нормальной звездой и звезды диском, дает нам уникальную возможность детального изучения этих необычных процессов кол-

лимации газа и его ускорения до релятивистских скоростей.

Таким образом, за последние 10—12 лет число кандидатов в черные дыры возросло до трех, а это уже дает возможность поставить проблему исследования черных дыр на реальную наблюдательную основу.

ДРУГИЕ ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ АСТРОФИЗИКИ

Мы рассмотрели два типичных примера обратных задач астрофизики. В первом случае (исследование звезд WR в затменных двойных системах) в обратной задаче искомыми являются функции, для нахождения которых необходимо использовать регуляризирующий алгоритм. Во втором случае (рентгеновские двойные системы) искомыми являются параметры, число которых невелико, поэтому трудности, связанные с некорректностью обратной задачи, обходятся.

Теперь мы можем ограничиться кратким перечислением результатов, полученных авторами при решении других обратных задач астрофизики. Подробное изложение каждой из этих задач могло бы составить предмет отдельной статьи.

Определение наблюдаемой структуры и динамических характеристик аккреционных дисков в новых и новоподобных звездах. Известно, что новые и новоподобные звезды являются тесными двойными системами, состоящими из красной карликовой звезды и вырожденного белого карлика, окруженного аккреционным диском. Для понимания механизма вспышек новых и новоподобных звезд важно исследовать структуру аккреционных дисков в разных фазах активности. Интерпретация кривых блеска новых и новоподобных звезд проводилась с помощью специальных алгоритмов, созданных для решения обратной задачи восстановления структуры аккреционного диска из оптических затмений. Оказалось, что во время вспышки радиус, поверхностная яркость и светимость аккреционного диска возрастают в несколько раз, что дает основание связать вспышку новоподобной звезды с изменениями характеристик аккреционного диска. В последнее время выяснилось, что новые и новоподобные звезды, являясь двойными системами с очень короткими периодами обращения по орбите, могут эволюционировать под влиянием излучения двойной системой гравитационных волн. Поэтому дальнейшие исследования звезд этого типа

представляют интерес для решения фундаментальных физических проблем¹⁰.

Построение карт распределения химических элементов по поверхностям звезд спектрального класса Ар. В Галактике наблюдается большое число звезд спектрального класса Ар, у которых содержание отдельных химических элементов в атмосферах превышает нормальное в сотни и тысячи раз. Сильная переменность профилей линий поглощения в спектрах этих звезд свидетельствует о том, что аномалии химического состава на поверхности звезды носят локальный характер, а сама спектральная переменность в силу ее периодического характера связана с вращением звезды. В. Л. Хохлова (Астросовет АН СССР) поставила обратную задачу отыскания локальных профилей линий поглощения по наблюдаемым интегральным профилям. На основе методов регуляризации были разработаны алгоритмы решения этой обратной задачи. Применение этих методов для обработки спектроскопических наблюдений, специально полученных как в нашей стране, так и за рубежом, позволило определить распределение химических элементов по поверхности звезд. Например, у звезды CU в созвездии Девы наблюдаются два пикета с избыточным (примерно в 1000 раз) содержанием кремния. Сравнение полученных карт распределения химических элементов с распределением магнитного поля позволит получить важную информацию о механизмах, приводящих к столь резким аномалиям в звездных атмосферах.

Автоматизация астрономических наблюдений. Внедрение современных методов регуляризации некорректно поставленных задач в практику астрономических исследований позволяет эффективно реализовать режим автоматизированных наблюдений, когда обработка и интерпретация результатов эксперимента проводятся в реальном времени ЭВМ. Это особенно важно для оптимального планирования и управления процессом наблюдений. К числу задач, где переход к сплошной автоматизации наблюдений не только полезен, но и необходим, относится задача определения угловых диаметров звезд из наблюдений затмений этих звезд Луной. С 1978 г. в Высокогорной экспедиции ГАИШ близ Алма-Аты (отдел звездной астрофизики ГАИШ) ведутся регулярные

наблюдения затмений звезд Луной на аппаратном комплексе «телескоп+ЭВМ» с временным разрешением 10^{-3} с. Процесс затмения звезды Луной очень скоротечен — длительность дифракционной картины при затмении звезды Луной составляет около 30—50 мс. Комплекс «телескоп+ЭВМ» позволяет с высокой эффективностью определять угловые диаметры звезд. Разрешающая способность такого метода достигает нескольких десятитысячных угловой секунды и в настоящее время является наивысшей из всех известных.

Кроме того, как показали наши расчеты, применение методов регуляризации при обработке данных радиоастрономических наблюдений дает возможность увеличить разрешающую способность радиотелескопа в 2—3 раза без изменения геометрических размеров радиотелескопа при погрешности входных данных до 3 % от максимума. Весьма эффективно также применение алгоритмов регуляризации в задачах спектроскопии и обработки изображения. Учет влияния инструментального профиля, или, более общо, так называемой аппаратной функции, позволяет существенно повысить разрешающую способность спектрографа или улучшить качество изображения астрономического объекта.

*

На примере ряда обратных задач астрофизики нам хотелось показать, как современный математический аппарат, примененный к анализу высокоточной наблюдательной информации, позволяет делать важные выводы о природе и эволюции различных астрофизических объектов, удаленных от нас на громадные расстояния. Успешному решению обратных астрофизических задач в сильнейшей степени способствует ряд благоприятных факторов, характерных для современной астрофизики. Действительно, мы живем в счастливое время, буквально в «золотой век» астрофизики, когда диапазон спектра электромагнитных колебаний, доступных для изучения, простирается от γ - и рентгеновского излучений до радиоволн, когда происходит активное проникновение в астрофизику новых физических идей и теорий, когда широкое внедрение ЭВМ позволяет эффективно реализовать новые математические методы при интерпретации данных астрономических наблюдений. Все это обуславливает тот поразительный прогресс наших знаний о Вселенной, который в последние годы все чаще называют новой революцией в астрономии.

¹⁰ Подробнее см.: Масевич А. Г., Тутуков А. В., Юргельсон Л. Р. Гравитационное излучение и эволюция карликовых двойных звезд. — Природа, 1981, № 5, с. 68.

Таммовские состояния и физика поверхности твердого тела

К 90-летию со дня рождения И. Е. Тамма

Л. В. Келдыш



Леонид Вениаминович Келдыш, академик, заведующий сектором теории твердого тела Отдела теоретической физики им. И. Е. Тамма Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР, заведующий кафедрой квантовой радиофизики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Основные исследования относятся к квантовой статистической физике, физике твердого тела, физике полупроводников, взаимодействию излучения с веществом. Построил теорию туннельных явлений в полупроводниках, предложил использовать пространственно-периодические поля (сверхрешетки) для управления электронным спектром и свойствами кристаллов, разработал теоретический аппарат для описания сильно неравновесных состояний квантостатистических систем, предсказал конденсацию экситонов с образованием электронно-дырочных капель. Лауреат Ленинской премии, премии им. М. В. Ломоносова АН СССР и премии Европейского физического общества.

Свыше 50 лет назад, на заре развития физики твердого тела, И. Е. Тамм опубликовал работу «О возможных связанных состояниях электронов на поверхности кристалла», в которой предсказывалось существование на поверхности кристаллов особых электронных состояний, впоследствии названных таммовскими¹. Находящиеся в этих состояниях электроны локализованы непосредственно вблизи поверхности. Даже в металлах и полупроводниках, где электроны сравнительно свободно перемещаются в объеме кристалла, в таммовских состояниях они способны двигаться лишь по поверхности, но не могут уйти в глубь кристалла. Такие электроны, как оказалось, играют определяющую роль во многих физических и химических явлениях на поверхности твердых тел.

Судьба этой работы, однако, довольно необычна. Нельзя сказать, что ее не заметили или забыли. Наоборот, уже в 30-е годы таммовские состояния прочно вошли в обиход физики твердого тела. Но в течение десятилетий их изучение оста-

валось уделом одних теоретиков. Отсутствовали не только сколько-нибудь надежные экспериментальные данные, подтверждающие существование этих состояний, но и серьезные попытки их обнаружить.

Причины такого разрыва между теорией и экспериментом объяснить нетрудно. Для любого исследования энергетического спектра² того или иного объекта нужно иметь этот объект в более или менее чистом виде и в количествах, достаточных для того, чтобы сигнал от него мог быть выделен на фоне других, паразитных, сигналов и зарегистрирован при существующем уровне чувствительности измерительной аппаратуры. В применении к поверхности твердого тела оба эти требования были абсолютно невыполнимы для экспериментальной физики того времени. Дело в том, что из атмосферы на любую поверхность непрерывно «налипают» (адсорбируются) чужеродные атомы и молекулы. Даже если бы как-то удалось получить чистую поверхность, чтобы уберечь ее от покрытия сплошным слоем адсорбированных атомов хотя бы в течение одной минуты, потребовалось бы проводить эксперимент при давлении не выше 10^{-8} мм рт. ст., недостижимом в те годы.

¹ Напечатано впервые на немецком языке в журнале: *Physikalische Zeitschrift der Sowjet Union* (1932, В. 1, S. 733). См. также: Ж. эксп. и теор. физики, 1933, т. 3, с. 34; Тамм И. Е. Собр. научн. трудов. Т. 1. М., 1975, с. 216.

² Энергетический спектр — набор уровней (возможных значений энергии) квантовых систем.



Игорь Евгеньевич Тамм (1895—1971) на семинаре в Физическом институте им. П. Н. Лебедева АН СССР. Фото 1965 г.

С другой стороны, таммовские состояния локализованы в нескольких атомных слоях, непосредственно прилегающих к поверхности. Число атомов, а следовательно, и электронов в этих слоях — ничтожная доля их полного числа в кристалле. Иными словами, даже при идеально чистой поверхности выделение в любом эксперименте ее вклада на фоне объемных эффектов требует неизмеримо большей чувствительности, чем исследование объемных свойств, а также использования специфических методик, не чувствительных, по той или иной причине, к процессам, происходящим внутри кристалла. Решение этих задач стало возможным лишь в результате колоссального прогресса эксперимен-



тальной физики во второй половине нашего века.

Неудивительно поэтому, что сам И. Е. Тамм, с чьим именем связаны блестящие результаты во многих других разделах физики¹, больше не возвращался к проблеме поверхностных состояний. Однако эта проблема продолжала обсуждаться теоретиками, занимавшимися физикой твердого тела.

¹ Им, в частности, построена полная квантовая теория рассеяния света в кристаллах, выведена формула для рассеяния света на электроны, предложен новый метод вычислений по теории возмущений в квантовой электродинамике, заложены основы квантовомеханической теории фотоэффекта в металлах, построена одна из первых полевых теорий ядерных сил, высказана идея о существовании магнитного момента у нейтрона, обобщена трактовка соотношения неопределенностей Гейзенберга, развит приближенный метод учета взаимодействия элементарных частиц, отличный от теории возмущений (метод Тамма — Данкова). И. Е. Тамм первым начал систематические исследования по проблеме термоядерного синтеза, выдвинул идею термоизоляции горячей плазмы магнитным полем, на которой основаны термоядерные реакторы с магнитным удержанием плазмы.



НЕМНОГО ИСТОРИИ

Наиболее значительные результаты следующего почти 30-летнего периода связаны с именами двух других нобелевских лауреатов — Дж. Бардина и У. Шокли. В 1939 г. Шокли, изучая электронную структуру ковалентных кристаллов типа алмаза, к которым относятся, в частности, полупроводники германий и кремний (в то время еще не столь популярные, как 10 лет спустя), доказал существование у них поверхностных электронных состояний и дал наглядную и очень плодотворную интерпретацию этого явления на языке химических связей¹. Эта интерпретация, как и общая природа таммовских состояний, подробно описаны ниже.

В 1947 г. Бардин предположил, что заполнение (или, наоборот, опустошение) поверхностных состояний играет решающую роль в формировании так называемого барьера Шоттки (перепада электро-

статического потенциала на контакте полупроводника с металлом или другим полупроводником)². По существу это было первое использование таммовских состояний для объяснения широкого и весьма важного круга явлений. Последовавшее затем в 1949 г. создание транзистора Дж. Бардином, У. Браттейном и У. Шокли не только революционизировало электронику, но и послужило мощным стимулом развития физики твердого тела в целом и физики поверхности в частности. Правда, по указанным выше причинам изучение поверхностей, несмотря на его практическую важность, и на этом этапе происходило неизмеримо медленнее, чем исследование объемных свойств твердых тел. Прошло еще почти 15 лет, сопровождавшихся бурным развитием физики твердого тела и ее экспериментальных методов, прежде чем Ф. Аллен и Г. Гобелли впервые более или менее надежно продемонстрировали прямыми экспериментами существование таммовских состояний на чис-

¹ Shockley W.— Phys. Rev., 1939, v. 56, p. 317.

² Bardeen J.— Phys. Rev., 1947, v. 71, p. 717.

той поверхности кремния⁶. Этот 1962 г.— год 30-летия со дня выхода в свет работы И. Е. Тамма, по-видимому, и следует считать началом экспериментального изучения поверхностных состояний.

Но даже и после этого накопление новых данных происходило довольно медленно. И лишь в начале 70-х годов ситуация стала быстро меняться. К этому времени во многих лабораториях мира появились установки, позволяющие проводить эксперименты при давлениях 10^{-10} — 10^{-12} мм рт. ст. и, таким образом, получать и сохранять в течение достаточно долгого времени чистые поверхности. Были также разработаны весьма тонкие методы очистки поверхностей от адсорбированных атомов и молекул, например бомбардировка ионными пучками. И наконец, удалось довести до требуемой чувствительности целый ряд как традиционных, так и совершенно новых экспериментальных методов, восприимчивых в первую очередь к структуре и свойствам именно поверхностных атомных слоев. К таким методам относятся спектроскопия фотоэлектронов, получаемых при облучении поверхности ультрафиолетовым или рентгеновским излучением (в частности, синхротронным), исследование упругого отражения электронных, атомных и ионных пучков от поверхности и другие. Благодаря этим достижениям экспериментальной техники, нарастание информации о строении и свойствах поверхности твердого тела приобрело за последние 10—15 лет лавинообразный характер.

ЧТО ДАЕТ ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ

Прежде чем переходить к описанию современного состояния некоторых основных направлений физики поверхности, наверное, уместно ответить на естественно возникающий вопрос: а зачем вообще это нужно? Если не только исследование, но даже получение и сохранение чистой поверхности требует таких усилий, т. е. в обычных условиях мы с такими идеальными поверхностями не сталкиваемся, то стоит ли тратить столько сил на их изучение?

Стоит уже хотя бы потому, что реальная поверхность вырастает из чистой. Не зная свойств исходной чистой поверхности, мы не можем понять ни механизма образования, ни свойств реальной поверх-

ности. Наши знания о ней оказываются при этом набором эмпирических (хотя нередко и весьма важных) сведений об объекте непонятной природы, практически неконтролируемом и невоспроизводимом. Трудно при этом что-либо сказать и о возможных способах направленного изменения свойств реальных поверхностей. Так что единственный путь ведет от идеальной поверхности к реальной.

Кроме того, хотя до сих пор, говоря о поверхности, мы имели в виду в основном свободные поверхности, отделяющие кристалл от атмосферы (или вакуума), не меньшую роль в современной физике твердого тела и ее приложениях играют внутренние поверхности раздела разных кристаллов одного или нескольких веществ. Такие границы могут быть как естественными (например, в поликристаллах), так и искусственно созданными: уже упоминавшиеся барьеры Шоттки, так называемые МДП (металл — диэлектрик — полупроводник) структуры, гетеропереходы и т. п. Искусственные границы раздела — основа современной микроэлектроники, и получать их с высокой степенью совершенства и воспроизводимости — практическая необходимость. Таммовские состояния и многие другие, характерные для физики поверхности представления, о которых пойдет речь ниже, в равной мере относятся и к поверхности раздела. Адсорбция же для них не столь существенна, поскольку они не находятся в контакте с атмосферой.

И наконец, следует заметить, что сложность получения чистых материалов ни в коей мере не специфична для физики поверхности. Наоборот, она скорее типична именно для тех областей современной физики, которые приобрели впоследствии наибольшее практическое значение. Достаточно вспомнить, что атомная энергетика начиналась с казавшегося невероятно трудным разделения изотопов, а полупроводниковая электроника потребовала кристаллов беспрецедентной по тем временам чистоты. Значимость физики поверхности с этой точки зрения также несомненна. Помимо уже упомянутой микроэлектроники, она лежит в основе таких разделов науки и техники, как эмиссионная электроника, выращивание кристаллов, гетерогенный катализ химических реакций, защита от коррозии и т. д.

Вместе с тем исследование поверхности представляются принципиально важными и с чисто физической точки зрения: поверхность — двумерная система, и

⁶ Allen F. G., Gobelli G. W.— Phys. Rev., 1962, v. 127, p. 141; p. 150.

многие явления и закономерности на ней выглядят совершенно иначе, чем в объеме, а существуют и такие, которые вообще не имеют трехмерных аналогов⁷.

Вполне естественно поэтому, что физика поверхности заняла одно из центральных мест в современной физике твердого тела.

ПРИРОДА И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТАММОВСКИХ СОСТОЯНИЙ

Как и вообще движение электронов в кристаллах, возникновение поверхностных состояний — довольно тонкое квантово-механическое явление, связанное с волновым характером движения электронов. Поэтому аналогии ему следует искать не в привычных нам свойствах частиц, а скорее среди явлений, связанных с распространением волн.

Волны, распространяющиеся вдоль поверхности раздела двух сред, но не уходящие в глубь ни одной из них, широко известны. Наиболее простой пример — обычное волнение на поверхности воды. При землетрясениях наблюдаются два типа сейсмических волн с различными скоростями: идущие «напрямик» через землю и распространяющиеся по ее поверхности. Нам, однако, понадобятся более тонкие аналогии.

Мы будем далее часто пользоваться терминами «атомная» и «электронная» структуры кристаллов, понимая в первом случае под структурой расположение атомов в кристалле, а во втором — уровни энергии электронов и соответствующее им пространственное распределение электронной плотности (рис. 1).

В кристалле потенциальная энергия ниже, чем в вакууме (на границе она меняется скачком), и на рис. 1 показана также работа выхода Φ — минимальная дополнительная энергия, которую нужно передать электрону, чтобы «вырвать» его из кристалла. Эта величина тесно связана с энергией (уровнем) Ферми E_F , отделяющей уровни, занятые электронами, от свободных: уровни с энергиями меньше E_F почти все заняты, а уровни с большими значениями энергии почти все свободны.

(Слово «почти» относится к ненулевым температурам, когда из-за теплового движения часть электронов переходит из-под уровня Ферми на вышележащие уровни.)

Однако наиболее важен на рис. 1 сам характер электронного спектра кристалла. В соответствии с одним из фундаментальных положений квантовой теории твердого тела, он имеет зонную структуру, т. е. состоит из интервалов энергии, заполненных электронными уровнями, — так называемых разрешенных зон. Разрешенные зоны разделены запрещенными,

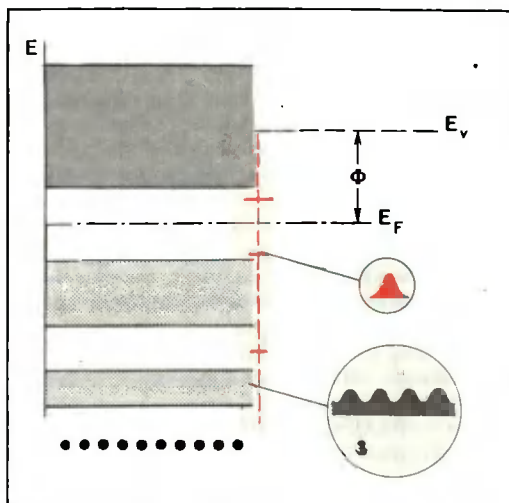


Рис. 1. Схематическое изображение атомной структуры (кружки) и электронного энергетического спектра кристалла. Разрешенные зоны заштрихованы серым цветом, заполненные электронами — отмечены точками. Минимальная энергия электронов в вакууме (E_v) больше энергии Ферми E_F на величину, равную работе выхода Φ . На поверхности (цветной пунктир) энергия E меняется скачком. Таммовские уровни показаны цветными отрезками, длины которых соответствуют размерам областей локализации находящихся на этих уровнях электронов. Пространственные распределения электронной плотности во внутреннем и поверхностном состояниях приведены справа внизу.

в которых электронных уровней внутри кристалла нет вообще. Электронные уровни в пределах каждой разрешенной зоны отличаются друг от друга скоростью, с которой находящийся на данном уровне электрон движется через кристалл. На первый взгляд, она должна быстро уменьшаться или, по крайней мере, часто и хаотично изменяться из-за рассеяния электронов на атомах кристаллической решетки. Однако это не так. Специфика кристаллической структуры и квантовая (волновая)

⁷ Наиболее ярким подтверждением этого тезиса стал открытый недавно квантовый эффект Холла — пожалуй, самое удивительное среди явлений, обнаруженных в физике твердого тела за последние 20 лет. См. об этом, напр.: Семеновский С. Г., Эдельман В. С. Полевой транзистор и постоянная тонкой структуры. — Природа, 1982, № 9, с. 38.

природа движения электронов приводят к тому, что из-за строгой периодичности в расположении атомов в идеальном кристалле электронные волны, рассеянные различными атомами, складываются с начальной волной в некую вполне упорядоченную результирующую волну (волну Блоха), которая как целое распространяется через кристалл с определенной групповой скоростью, уже не рассеиваясь.

С этой точки зрения нетрудно понять и происхождение запрещенных зон. По своей природе они тесно связаны с хорошо известным для рентгеновских лучей брэгговским отражением: у электронной волны с энергией, попадающей в какую-либо из запрещенных зон, фазы рассеянных различными атомами кристаллической решетки волн таковы, что, складываясь, эти волны полностью «гасят» начальную, превращая ее в волну, отраженную назад. Поэтому электронов с такими энергиями в глубине кристалла быть не может. Из этого объяснения видно, однако, что у поверхности кристалла волны с такими энергиями существовать могут. Действительно, если на кристалл падает извне волна (электрон) с такой энергией, то она должна проникнуть хотя бы на глубину в несколько атомных слоев, чтобы рассеяться на атомах и породить те самые рассеянные волны, которые ее и погасят. Поэтому она отражается постепенно, хотя ее амплитуда быстро убывает по мере удаления от поверхности в глубь кристалла.

В некотором смысле обратная ситуация имеет место для волн Блоха с разрешенными значениями энергии ниже E_v — минимальной энергии электрона в вакууме: падая на поверхность кристалла изнутри, такая волна, естественно, не может уйти в вакуум — «натываясь» на потенциальный барьер на границе, электроны отражаются обратно в кристалл. Однако с учетом квантовых законов, это отражение происходит не так резко, как у классического шарика, отскакивающего от стенки. Волна Блоха проникает (туннелирует) в глубь барьера, отражаясь постепенно, так что амплитуда ее плавно (хотя и весьма быстро) убывает по мере удаления от поверхности кристалла в вакуум. На расстояниях того же порядка, что и межатомные расстояния в кристалле, она практически полностью затухает.

Если же энергия электрона меньше E_v , но попадает на одну из запрещенных зон, то возникает волна, «запертая» вблизи поверхности. Она не может уйти ни в глубь кристалла (из-за брэгговского отражения),

ни в вакуум (из-за потенциального барьера). Как бы отражаясь от двух параллельных зеркал, она распространяется только вдоль поверхности. Это и есть таммовское состояние.

Аналогичные состояния образуются и на внутренней поверхности раздела для энергий, попадающих одновременно в запрещенные зоны обоих кристаллов. При этом электрон с двух сторон «заперт» у поверхности брэгговскими отражениями.

Картина, изображенная на рис. 1, нуждается еще в одном важном дополнении. На ней подразумевается, по существу, лишь одна проекция скорости электронов — по нормали к поверхности. Но энергии всех состояний, как объемных, так и поверхностных, зависят, естественно, и от компонент скорости, параллельных поверхности. При учете этого обстоятельства таммовские уровни «расплываются», образуя своеобразные разрешенные зоны поверхностных состояний. В пределах каждой такой зоны разные уровни соответствуют разным скоростям движения электронов вдоль поверхности. С этой точки зрения на рис. 1 изображены только электронные состояния, отвечающие какому-то одному фиксированному значению компоненты скорости, параллельной поверхности. Более строго следовало бы говорить о компонентах не скорости, а квазиимпульса $\vec{k}$, тесно связанного со скоростью и непосредственно определяющего длину и направление распространения волны Блоха⁸. При изменении компоненты квазиимпульса $k_{||}$ параллельной поверхности, все энергии, показанные на рис. 1, включая положения разрешенных и запрещенных зон, смещаются. Это объясняет кажущееся противоречие рис. 1 и приведенного выше описания таммовских состояний с результатами многих экспериментов для конкретных кристаллов. На аналогичных нашему рисунках, представляющих результаты этих работ, нередко можно обнаружить таммовские уровни с энергиями, попадающими в разрешенные зоны и, казалось бы, не удовлетворяющими условиям брэгговского отражения. Дело в том, однако, что на этих рисунках бывает показана **полная** ширина разрешенных зон, т. е. содержащая уровни со всеми возможными значениями $k_{||}$. При этом оди-

⁸ Квазиимпульс $\vec{k}$ — векторная величина, характеризующая состояние частицы или квазичастицы (например, электрона) в периодическом поле кристаллической решетки, подобно тому как обычный импульс описывает движение материальной точки или механической системы.

наковую энергию могут иметь состояния с какими-то определенными значениями $k_{\parallel}$ в разрешенных зонах и поверхностные состояния с совершенно **другими** значениями этих компонент. Происходит как бы наложение многих рисунков типа рис. 1, и запрещенные зоны на некоторых из них частично перекрываются с разрешенными зонами на других. Иными словами, условия брэгговского отражения определяются не только соотношением длины волны и межатомного расстояния в кристалле, но и углом, под которым волна падает на его поверхность (при одном угле волна проходит через кристалл, а при другом — испытывает брэгговское отражение). Таммовские состояния возникают из-за брэгговского отражения и поэтому всегда попадают в энергетические зоны, **запрещенные для электронов с тем же значением $k_{\parallel}$** . Это, однако, вовсе не противоречит существованию в кристалле разрешенных состояний с той же энергией, но другими значениями $k_{\parallel}$.

Для понимания многих явлений, связанных так или иначе с поверхностными состояниями электронов, весьма полезен, как уже упоминалось выше, и другой подход, предложенный У. Шокли, хотя он относится в основном к одной группе веществ — кристаллам с преимущественно ковалентными связями между атомами, создаваемыми парами электронов¹ — по одному от каждого из атомов, участвующих в образовании связи (участок кристалла такого типа изображен на рис. 2). Термин «связь» означает в данном случае, что образование такой пары, в которой движения обоих электронов сильно скоррелированы, приводит (за счет взаимодействия этих электронов друг с другом и с атомными ядрами) к существенному понижению их энергии по сравнению с тем значением, которое она имела бы, если бы оба электрона двигались независимо, оставаясь каждый в своем атоме. Поэтому удаление из кристаллической решетки любого атома, сопровождающееся разрывом нескольких (в конкретном случае, изображенном на рисунке, — четырех) пар, невозможно без значительной затраты энергии. На первый взгляд, такое описание электронной структуры кристалла не имеет ничего общего с введенными выше понятиями разрешенных и запрещенных зон, волн Блоха и т. п. На самом деле, однако, язык валентных связей легко переводится на язык энергетических зон и волн Блоха. Дело в том, что, хотя на каждой связи постоянно находятся два электрона, ни один из них

не остается все время на одной и той же связи. Из-за того что все электроны совершенно одинаковы, каждый из них «меняется местами» как со своим партнером по связи, так и с членами других, соседних пар. Благодаря таким перестановкам, «переходя с одной связи на другую», электрон непрерывно движется по кристаллу. Волны Блоха и описывают эти переходы. Они могут происходить с разной частотой, а следовательно, различной будет и скорость результирующего движения. Разным же скоростям соответствуют разные

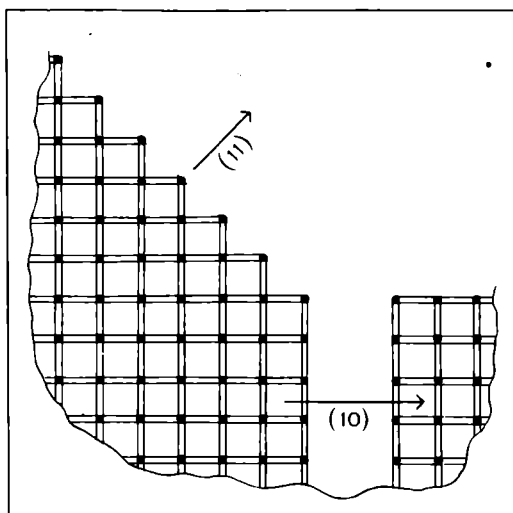


Рис. 2. Атомная структура кристалла с ковалентными связями [двойные линии]. Свойства разных поверхностей [пунктир] могут сильно различаться: на вертикальном участке, изображенном в процессе раскола кристалла, у каждого атома образуется по одной свободной связи (волнистые линии), а на наклонном — по две. Стрелками показаны направления нормалей к этим поверхностям (индексы в скобках — проекции нормалей на оси кристалла — двумерными, ибо пространственная структура заменена на рисунке двумерной).

значения энергии, заполняющие разрешенные зоны на рис. 1. Таким образом, ковалентные связи образуют те самые электроны, которые занимают уровни, лежащие ниже уровня Ферми в разрешенных зонах. Вышележащие разрешенные зоны точно так же образуются из возбужденных электронных состояний. Из-за постоянных переходов электронов с одной связи на другую каждая связь отражает как бы средние свойства всех электронов в разрешенной зоне, и поэтому все связи одинаковы, несмотря на то что движения электронов, занимающих в разрешенной зоне разные

энергетические уровни, могут быть весьма различны.

В исключительном положении находятся электроны приповерхностных атомов. Два различных участка поверхности отмечены на рис. 2, и один из них (вертикальный) показан как бы в процессе образования свободной поверхности при раскалывании кристалла. При этом разрываются связи между атомами, остающимися по разные стороны раскола. Создавшие их электронные пары распадаются на независимые электроны, каждый из которых остается в своем атоме. Их энергии, как уже говорилось, больше, чем у электронов, образующих связи, поэтому если энергии последних образуют разрешенную зону на рис. 1, то энергии «одиночных» электронов на поверхности попадают в лежащую выше запрещенную зону и соответствуют таммовским состояниям. В идеальном кристалле такие «одиночки» существуют только на поверхности, так как внутри кристалла все электроны участвуют в образовании связей, или, как принято говорить, все валентные связи насыщены. В научной литературе этот тип поверхностных состояний обозначают весьма образным, хотя и не совсем точным английским термином *dangling bands* (болтающиеся связи). Не вполне точен он потому, что речь идет как раз об электронах, утративших связи, зато он подчеркивает их готовность к образованию связей с атомами того же самого элемента или какими-либо инородными атомами, адсорбирующимися на поверхности.

Электронная структура и свойства могут весьма различаться для разных граней одного и того же кристалла. Действительно, как видно из рис. 2, на вертикальном участке поверхности у каждого атома разорвано по одной связи, а на наклонном — по две. Ясно, что и система таммовских уровней, и способность к образованию новых связей на этих двух гранях должны быть различны. В кристаллографии каждую грань кристалла характеризуют ориентацией нормали к ней относительно атомных слоев кристаллической решетки. Не вдаваясь в подробности, приведем только один простейший пример, важный для последующего изложения экспериментальных данных. В кристаллах, состоящих из элементарных ячеек кубической формы, грани, перпендикулярные ребрам кубиков, обозначают символом (100), а их диагоналям — (111). Цифры в некотором условном масштабе выражают величину проекций нормали к грани на оси кристалла (ребра куба).

ЧИСТЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

Результаты выполненных в последние годы многочисленных экспериментальных и теоретических исследований чистых поверхностей убедительно продемонстрировали, что структура и свойства атомных слоев на поверхности кристалла и в его объеме совершенно различны. По существу это две разные формы одного и того же вещества. Специфические поверхностные состояния электронов обнаружены почти у всех исследованных веществ, включая простые металлы, такие как медь и алюминий, но наиболее подробно изучались они в полупроводниках (германий, кремний, арсенид галлия), так называемых переходных (железо, никель, молибден, вольфрам, палладий, платина) и благородных (золото, серебро) металлах.

Повышенный интерес к поверхностям именно этих материалов вполне понятен. Перечисленные полупроводники составляют основу современной микроэлектроники, где, как уже отмечалось, роль поверхностей становится определяющей. Переходные металлы служат наиболее эффективными катализаторами многих важных химических процессов (окисление, восстановление, синтез и разложение углеводородов, аммиака и т. д.). Благородные металлы привлекают внимание в первую очередь стойкостью по отношению к коррозии.

У всех перечисленных веществ обнаружено несколько групп (разрешенных зон) поверхностных состояний, как занятых электронами, так и свободных. Среди этих групп наибольший интерес представляет те, энергии которых наиболее близки к уровню Ферми⁹.

В полупроводниках этот уровень расположен в так называемой абсолютной запрещенной зоне, где для внутренних электронов нет уровней ни при каких значениях скорости. У металлов же E_F всегда лежит в одной из разрешенных зон и среди поверхностных состояний наиболее

⁹ Дело в том, что большинство физических и химических процессов связаны с пространственным или энергетическим перераспределением электронов, их переходами с одних уровней на другие. Уровень же Ферми как раз и отделяет занятые электронами состояния от свободных. Поэтому при любом воздействии на поверхность (нагревании, освещении, наложении внешнего поля, электронной или ионной бомбардировке, адсорбции инородных атомов и т. д.) уровни, ближайшие к E_F , легче других отдадут или примут электроны, т. е. именно они определяют большинство свойств поверхности.

важны те, которые отстоят от него не более чем на 1—2 эВ.

Весьма необычная ситуация может возникнуть на поверхности полупроводника, если уровень Ферми попадает внутрь одной из разрешенных зон поверхностных состояний. При этом такая зона содержит как занятые электронами, так и свободные состояния, что характерно для металлов. Такое вещество было бы полупроводником с металлической поверхностью! Именно такое поведение ожидалось на поверхностях (111) в германии и кремнии, исследованию которых (особенно кремния) посвящено больше работ, чем любым другим поверхностям. В этих наиболее типичных кристаллах с чисто ковалентными связями на поверхности (111) у каждого атома разорвана как раз одна связь. Возникающая при этом зона поверхностных состояний должна быть заполнена электронами как раз наполовину (если бы каждой связи соответствовала пара электронов, то зона, как и в объеме кристалла, оказалась бы заполненной целиком).

Однако эксперимент не подтвердил эти ожидания. Хотя существование поверхностных состояний в запрещенной зоне и у германия, и у кремния надежно установлено, обе поверхности остаются полупроводниковыми, а не металлическими. И причина этого — атомная реконструкция поверхности — еще одно фундаментальное для физики поверхности явление, о котором мы пока не упоминали. Дело в том, что само расположение атомов в поверхностном слое, вообще говоря, не такое, как внутри кристалла. Чтобы понять природу этого явления, обратимся снова к рис. 2. Выше уже говорилось о тенденции поверхностных электронов к образованию новых связей. Но на гладкой и чистой поверхности, в отсутствие каких-либо посторонних атомов, у них нет для этого иных способов, кроме как образовывать дополнительные связи между самими поверхностными атомами. Соседние атомы поверхностного слоя образуют дополнительные связи между собой, объединяясь в пары — димеры (рис. 3). Обусловленное этими связями дополнительное взаимодействие сближает атомы каждого димера друг с другом, одновременно удаляя их от соседних атомов, вошедших в другие димеры. При этом на поверхности изменяется период кристаллической решетки. Действительно, период кристаллической решетки — это расстояние, при сдвиге на которое решетка точно воспроизводит свой исходный вид, т. е. в каждом

ее узле оказываются такие же атомы, что и раньше. В простейшем случае (рис. 2) это просто расстояние d между соседними атомами. Однако в деформированном поверхностном ряду совмещение достигается лишь при сдвиге на расстояние между центрами соседних димеров, вдвое большее периода решетки во внутренних слоях (рис. 3). Таким образом на поверхности происходит реконструкция с удвоением периода.

Реальная поверхность трехмерного кристалла — это уже не ряд атомов,

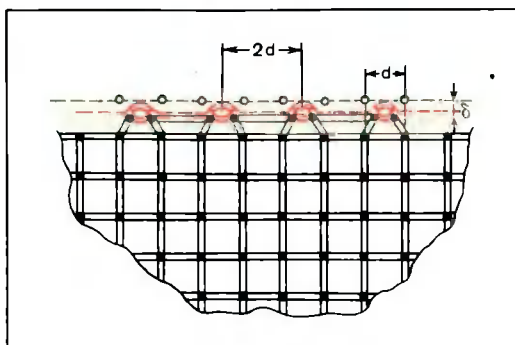


Рис. 3. Перестройка поверхности (10), изображенной на рис. 2. Соседние атомы поверхностного слоя (светлые кружки) образуют связи между собой, объединяясь в пары — димеры (показаны цветом). Атомы пары сближаются друг с другом и удаляются от «соседей», вошедших в другие димеры. При этом на поверхности в горизонтальном направлении период кристаллической решетки оказывается равным уже не расстоянию d между атомами во внутренних слоях, а расстоянию $2d$ между центрами димеров, т. е. осуществляется реконструкция 2×1 . Наряду с изменением взаимного расположения атомов в поверхностном слое происходит релаксация: весь он как целое приближается к следующему атомному слою, так что расстояние между ними становится меньше d на величину δ .

а атомная плоскость, и варианты ее перестройки при образовании дополнительных связей могут быть весьма разнообразны (один из них представлен на рис. 4). Видно, что в этом случае по вертикали период на поверхности удвоен (как и на рис. 3), а по горизонтали остался тем же, что и внутри кристалла. Для краткости такую реконструкцию обозначают символом 2×1 . Вообще символ $m \times n$ соответствует реконструкции, при которой период на поверхности увеличился в одном направлении в m , а в другом — в n раз, т. е. объединению атомов поверхностного слоя в укрупненные ячейки, содержащие атомы $m \cdot n$ ячеек исходной решетки.

Помимо реконструкции, существует еще один процесс перестройки — релаксация поверхности. Как видно из рис. 3, наряду с изменением расположения атомов в поверхностном слое, весь он как целое приближается к следующему атомному слою, так что расстояние между ними становится меньше d .

Необходимо отметить тесную связь атомной и электронной структур поверхности. Уже из рассмотренного примера следует, что реконструкция и релаксация обусловлены именно перестройкой поверх-

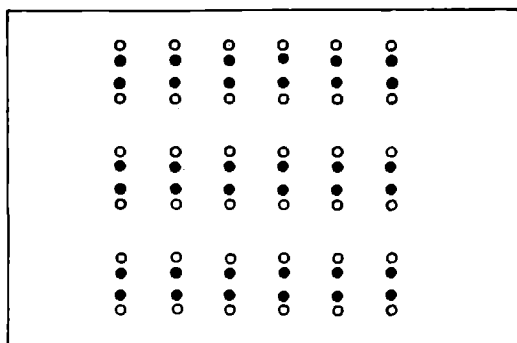


Рис. 4. Один из вариантов перестройки (реконструкция 2×1) поверхности при образовании дополнительных связей. Светлыми кружками обозначены атомы поверхностного слоя на нереконструированной поверхности, темными — те же атомы после реконструкции. В отличие от предыдущих рисунков поверхность здесь показана не «сбоку» (когда она выглядит как одномерный ряд атомов), а «сверху», что позволяет представить положение всех атомов как до, так и после произвольной реконструкции.

ностных электронных состояний и образованием за счет этого новых связей между атомами. С другой стороны, не менее очевидно, что при перестройке поверхности меняются и энергии поверхностных электронов, поскольку энергии всех связей зависят, в первую очередь, от расстояний между атомами и их взаимного расположения. Истинная структура поверхности определяется наибольшей энергетической «выгодой» взаимного расположения атомов и возникающих между ними связей. Этот вывод справедлив не только для кристаллов с ковалентными связями. Он остается в силе и для металлов, и для ионных кристаллов, где в процессе перестройки поверхности может происходить частичное перераспределение электронного заряда между ионами.

Вернемся теперь к обсуждению свойств реконструированных поверхностей

(111) в германии и кремнии. Хотя реальные смещения атомов на них гораздо сложнее, чем на рис. 4, и до сих пор еще служат предметом дискуссий, в простейшем варианте это именно реконструкция 2×1 с образованием поверхностных димеров. При этой перестройке зона поверхностных состояний, которая на нереконструированной поверхности была бы заполнена наполовину и соответствовала бы «поверхностному металлу», расщепляется на две отдельные зоны. Электроны заполненных состояний понижают свою энергию из-за образования димеров, и таким образом эти состояния как бы «отрываются» (по энергии) от остальной части зоны, в которой остаются только незаполненные уровни. Между двумя частями исходной зоны возникает интервал, где нет никаких состояний, — поверхностная запрещенная зона шириной около 0,1 эВ. Уровень Ферми автоматически попадает в этот интервал, и поверхность сохраняет свойства полупроводника, обладающего, правда, другими параметрами, чем внутри кристалла.

Реконструкция 2×1 — отнюдь не единственная перестройка поверхностей (111) в германии и кремнии. Хотя она и происходит обычно на свежеприготовленных чистых поверхностях этих кристаллов, однако даже при небольшом нагреве на нее накладывается дополнительная, гораздо более сложная перестройка 7×7 в кремнии и 2×8 в германии. Эти новые структуры уже стабильны, т. е. не исчезают и при последующем охлаждении. Поначалу казалось, что в эксперименте не заметно никаких качественных изменений электронной структуры поверхности при этих крупномасштабных перестройках, иными словами, таммовские состояния хотя и смещаются, но в общих чертах сохраняют положение, создавшееся при реконструкции 2×1 . Однако недавно появились первые указания на образование новой, очень узкой (шириной порядка 0,001 эВ) разрешенной зоны поверхностных состояний непосредственно вблизи уровня Ферми, т. е. в середине поверхностной запрещенной зоны, возникшей при начальной реконструкции 2×1 . Если существование этой новой группы поверхностных состояний подтвердится, это не только прояснит свойства получающихся поверхностей, но и, возможно, позволит понять, почему на столь простых поверхностях происходят столь сложные перестройки.

Многообразие поверхностных перестроек кристаллической решетки огромно. Они совершенно различны даже на раз-

ных гранях одного и того же кристалла и, по-видимому, всегда связаны с теми или иными особенностями электронной структуры. Вот лишь два примера.

Среди хорошо изученных поверхностей полупроводниковых кристаллов поверхность (110) в арсениде галлия уникальна по меньшей мере в двух отношениях. Она не реконструирована, хотя атомы на ней занимают не совсем те же положения, что и во внутренних слоях. Но их смещения не изменяют периоды решетки. Заметим, кстати, что две другие основные грани того же кристалла всегда сильно реконструированы: при различных условиях на грани (100) наблюдались перестройки 2×8 , 4×4 , 4×6 , 1×6 , а на грани (111) — 2×2 и 19×19 ! Кроме того, на поверхности (110) таммовские состояния в основной запрещенной зоне вблизи уровня Ферми экспериментально не обнаружены, хотя вне этого интервала энергий такие состояния, конечно, есть. Это противоречило теоретическим расчетам, согласно которым на непериодической поверхности (110) в арсениде галлия должны существовать таммовские уровни и в основной запрещенной зоне.

Противоречие разрешилось в пользу эксперимента. Дело в том, что эта поверхность хотя и не реконструируется, но испытывает релаксацию. Из-за взаимодействия поверхностных электронов с атомами внутренних слоев таммовские состояния, которые на нерелаксированной поверхности попали бы в запрещенную зону, смещаются из этой области энергий в соседние разрешенные (для электронов внутри кристалла) зоны.

Это имеет важное практическое значение, ибо арсенид галлия — один из основных материалов микроэлектроники, а отсутствие или наличие поверхностных уровней в запрещенной зоне сказывается на электрических свойствах его контактов.

Перестройки поверхности характерны не только для полупроводников, но и для многих переходных и благородных металлов. У золота и платины на поверхности (110) происходит реконструкция 2×1 , а на поверхности (100) — 5×20 ! Реконструкция 2×2 наблюдается при температурах от комнатной и ниже на гранях (100) в вольфраме, молибдене и хrome. Выяснению связи этих структур с поверхностными электронными состояниями посвящено много работ. Так, для нереконструированной поверхности (100) в платине вблизи уровня Ферми обнаружено большое число таммовских состояний, которые исчезают

(по-видимому, смещаясь в область более низких энергий) при упомянутой реконструкции 5×20 . Одновременно резко падает способность поверхности к окислению и восстановлению. Значит, именно реконструкция 5×20 и связанная с ней перестройка таммовских состояний ответственные за химическую стойкость этой поверхности. Некоторые другие из многочисленных фактов, демонстрирующих связь структуры чистой поверхности с ее химической активностью и образованием на ней реальной поверхности, мы обсудим в следующем разделе.

АДСОРБЦИЯ

Адсорбция, гетерогенный катализ и коррозия изучаются уже многие десятилетия. Однако огромный объем фактического материала об этих явлениях относится почти исключительно к «реальным» поверхностям, атомная и электронная структуры которых, по сути, неизвестны и неконтролируемы. Поэтому их описание, по необходимости, имеет феноменологический характер, т. е. основывается в каждом конкретном случае на некотором наборе эмпирических характеристик. Новое, что внесла в эту область современная физика поверхности, — попытка понять природу указанных явлений на молекулярном уровне, исходя из перестройки структуры как поверхности, так и адсорбируемых атомов или молекул при их взаимодействии. Естественно, что на нынешнем начальном этапе этих исследований основное внимание уделяется простейшим случаям — адсорбции на чистой поверхности отдельных атомов или несложных (но играющих ключевую роль во многих практически важных реакциях) молекул водорода (H_2), кислорода (O_2), окиси углерода (CO) и т. п.

В принципе, любой газ адсорбируется на любой поверхности. Однако скорости образования адсорбционных слоев и их устойчивость (по отношению, например, к нагреванию) изменяются в чрезвычайно широких пределах, ибо величина и характер взаимодействия различных атомов или молекул с различными поверхностями отличаются очень сильно. Традиционно все адсорбционные процессы делят на физическую и хемическую. При физической адсорбции атомная и электронная структуры как поверхности, так и адсорбируемой частицы остаются практически неизменными. Образующиеся таким образом адсорбционные слои обычно относительно слабо связаны с поверхностью и легко разрушаются. Опи-

сание многочисленных и весьма интересных эффектов в таких слоях выходит за рамки этой статьи, так как структура поверхности для них не играет сколько-нибудь существенной роли. В хемосорбции же, когда заметно перестраиваются атомная и электронная структуры поверхности и образуется какая-то химическая связь, роль электронов, локализованных вблизи поверхности, становится решающей. Правда, совершенно необязательно это те таммовские состояния, которые существуют на чистой поверхности.

На рис. 5 схематически изображено изменение электронной структуры при приближении атома к поверхности металла (например, вольфрама), имеющего зону поверхностных состояний вблизи уровня Ферми E_F . Показаны лишь два наиболее важных для дальнейшего изложения электронных уровня атома: E_a — уровень внешнего валентного электрона и E_{a-} — уровень дополнительного электрона, превращающего атом в отрицательный ион. По мере приближения атома или иона к поверхности, энергии обоих уровней изменяются

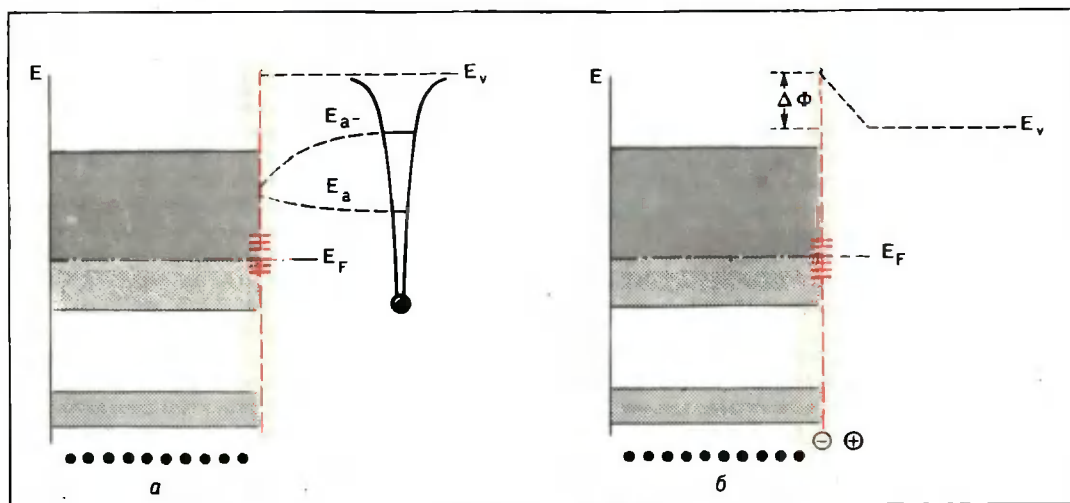


Рис. 5. Изменение электронной структуры при адсорбции на поверхности кристалла с зоной таммовских состояний вблизи уровня Ферми (обозначения те же, что на рис. 1). В потенциальной яме атома (сплошная кривая на рис. 5а) показаны лишь два электронных уровня: E_a — уровень валентного электрона и E_{a-} — уровень дополнительного электрона, превращающего атом в отрицательный ион. Изменение энергии этих состояний при адсорбции изображено пунктирными кривыми. При адсорбции положительных ионов, полученных из нейтральных атомов в результате перехода электронов с уровня E_a в таммовские состояния на поверхности (заряжаемой отрицательно), создается дополнительный электростатический потенциал, сдвигающий вверх на величину $\Delta\Phi$ все уровни внутри кристалла, включая и E_F , что увеличивает число заполненных поверхностных состояний (рис. 5б).

Адсорбированный атом влияет на движение электронов в примыкающей к нему области поверхности, сдвигая таммовские уровни и деформируя пространственные распределения локализованных на них электронов. При этом могут возникнуть и новые поверхностные состояния которых на идеальной поверхности вообще не было. В результате изменятся и свойства поверхности.

из-за взаимодействия с металлом. Изменения эти неодинаковы, поскольку нейтральный атом и ион по-разному действуют на электроны металла. Для иона основную роль играют так называемые силы изображения (взаимодействие с избыточным положительным зарядом на поверхности, возникающим из-за отталкивания ионом электронов металла). В адсорбированном состоянии (непосредственно у поверхности) атом может либо остаться нейтральным, либо превратиться в отрицательный ион, захватив один из электронов металла на уровень E_{a-} , либо приобрести положительный заряд, отдав свой валентный электрон металлу. Выбор зависит от взаимного расположения уровней E_a , E_{a-} и E_F . Если E_a и E_{a-} выше E_F (рис. 5а), валентный электрон с уровня E_a перейдет в металл на один из уровней, близких к E_F , т. е. адсорбируется уже не атом, а положительный ион на отрицательно заряженной поверхности (рис. 5б). Адсорбированный слой и поверхность металла становятся при этом как бы обкладками заря-

женного конденсатора. Создаваемая на нем разность потенциалов V поднимает все уровни электронов внутри металла, включая и уровень Ферми, на величину $\Delta\Phi = eV$ (e — заряд электрона) и таким образом уменьшает работу выхода на $\Delta\Phi$. В особом положении оказываются, однако, уровни поверхностных состояний, так как находящиеся на них электроны расположены, по крайней мере частично, внутри «конденсатора». А это значит, что разность электрических потенциалов между «внешней обкладкой» (адсорбированным слоем) и той областью, где находятся эти электроны, меньше V , поэтому сдвиг таких уровней меньше $\Delta\Phi$. В результате часть поверхностных состояний, имевших на чистой поверхности энергии выше E_F , попадает под уровень Ферми, иными словами — заполняется электронами (теми, что перешли на поверхность с адсорбированных атомов).

В некотором смысле противоположная ситуация возникает, если атомные уровни, и в частности E_a , лежат ниже E_F . В этом случае энергетически выгодно перенести электроны из металла с уровней, близких к E_F , на уровни E_a адсорбированных атомов (или молекул), т. е. адсорбируются уже отрицательные ионы на положительно заряженной поверхности. Разность потенциалов между адсорбированным слоем и поверхностью имеет теперь знак, противоположный тому, что на рис. 5б. Энергии электронов внутри металла и уровень Ферми понижаются, работа выхода увеличивается, а поверхностные уровни также понижаются, но меньше, чем внутренние. Зона поверхностных состояний повышается относительно уровня Ферми и поэтому частично опустошается: часть электронов из нее переходит на адсорбированный слой.

Изложенная схема, конечно, предельно упрощена, так как не учитывает упомянутой выше возможной перестройки электронных состояний вблизи поверхности при адсорбции, однако она достаточно наглядно показывает, что поверхностные состояния играют определяющую роль в процессах хемосорбции, по крайней мере в тех случаях, когда их энергии близки к E_F .

Картина, изображенная на рис. 5, типична для адсорбции атомов щелочных металлов на поверхностях переходных и благородных металлов. Уменьшение работы выхода в таких системах, обнаруженное К. Кингдоном и И. Ленгмюром еще в 1923 г., широко применяется в эмиссионной электронике при создании термо- и фотокатодов. Не меньшее значение приобрело и

другое их открытие: адсорбированные на поверхности (например, вольфрама) атомы цезия испускались с нее при нагревании в виде ионов, позволяя легко получать пучки ионов для самых разнообразных применений. Качественная природа эффектов — ионизация при адсорбции — была понята Ленгмюром в те же годы, однако лишь в последнее время стала выясняться роль поверхностных электронных состояний в этих явлениях.

Изменение работы выхода — пример влияния адсорбции на свойства поверхности. Не менее важная сторона тех же процессов — изменение электронной структуры адсорбированных атомов и молекул и его влияние на протекание химических реакций (катализ).

Электронное состояние молекулы полностью определяет химические связи в ней и ее способность вступать в реакции с другими молекулами. Поэтому перенос электрона с адсорбированной молекулы на металл (или полупроводник) либо с металлом на молекулу может в одних случаях усилить какие-то связи в ней, а в других — ослабить или даже разорвать. Тесная связь этих явлений с электронной и атомной структурами поверхности убедительно подтверждается тем давно известным фактом, что каталитические активности разных граней одного и того же кристалла для одной и той же реакции могут резко различаться. Определяющая роль поверхностных состояний продемонстрирована многими экспериментами, показавшими, что именно эти состояния в первую очередь реагируют даже на очень небольшие количества адсорбированных атомов или молекул, смещаясь по энергии или даже исчезая в одной области энергий и появляясь в другой. Эта крайняя чувствительность к адсорбции, многие годы бывшая главным препятствием для обнаружения таммовских состояний, теперь, когда появилась возможность проводить адсорбцию строго контролируемым образом на чистой поверхности, стала простейшим способом отличать поверхностные состояния от объемных.

Как видно из рис. 5а, при адсорбции меняются и уровни адсорбирующихся атомов и молекул. Прямые эксперименты показали, что на многих каталитически активных гранях переходных металлов для молекул типа O_2 , CO и многих других создается ситуация, обратная изображенной на рис. 5а: уровень E_a опускается ниже E_F и заполняется электронами, что приводит к диссоциации адсорбированной

молекулы или очень сильному уменьшению ее энергии связи. Дело в том, что в молекулах электроны, находящиеся в некоторых состояниях (на так называемых связывающих орбиталях), обеспечивают взаимное притяжение атомов, а в других состояниях (на разрыхляющих орбиталях) — отталкивание. В упомянутых выше молекулах уровень E_a соответствует разрыхляющей орбитали, но в свободной молекуле электрона на нем нет. При адсорбции же он появляется, что и приводит к резкому уменьшению энергии связи молекулы или даже ее полному разрыву. Так, энергия связи молекулы O_2 уменьшается с 6,4 до 0,56 эВ на поверхности (111) в платине — и до 0,01 эВ на той же поверхности в никеле¹⁰. В первом случае межатомное расстояние в этой молекуле увеличивается почти на 20% (с 0,121 нм до 0,145 нм) — очень сильно по атомным масштабам¹¹. Аналогично, энергия связи молекулы CO уменьшается с 11 эВ до 0,8 эВ на поверхности (100) в рутении, но только при одновременной адсорбции молекул CO и атомов калия¹². Этот эффект — стимулирующее действие адсорбции щелочных металлов на каталитическую активность поверхностей переходных металлов — широко известен и может быть легко объяснен, исходя из сказанного выше. Действительно, при адсорбции щелочных металлов увеличивается E_F и дополнительные поверхностные состояния заполняются электронами, за счет чего усиливается их перенос на лежащие ниже уровни E_a адсорбированных на той же поверхности молекул. К примеру, при адсорбции молекулы CO на чистой поверхности (111) в платине ее межатомное расстояние изменяется слабо и составляет 0,115 нм. Дополнительная же адсорбция небольшого количества (0,2 монослоя) атомов натрия сразу увеличивает это расстояние до 0,127 нм, существенно ослабляя связи¹³. Хорошо известен и обратный эффект — «отравление» катализа при адсорбции атомов (скажем, серы), увеличивающих работу выхода, т. е. понижающих E_F и опустошающих поверхностные состояния. Значительно ослабленные связи адсорбированных молекул уже при умеренных

температурах разрываются тепловым движением, освобождая атомы для участия в химических реакциях. Таким образом, управление катализом на металлах и полупроводниках, с изложенной точки зрения, сводится к управлению положением уровня Ферми на поверхности катализатора.

Иногда важны и специфические коллективные явления в адсорбированных слоях, в частности фазовые превращения газ — жидкость — кристалл. При этом в адсорбированном слое, содержащем атомов намного меньше, чем нужно для образования одного сплошного слоя, при некоторой температуре спонтанно начинают образовываться островки (плоские капельки), плотно заполненные адсорбированными атомами и окруженные значительно большими участками поверхности, в которых этих атомов очень мало. С понижением температуры или увеличением числа таких атомов они могут образовать плоскую решетку (двумерный кристалл) с периодами, совершенно иными, чем у кристаллической подложки. Все это может сильнейшим образом отразиться на протекании химических реакций в адсорбированных слоях.

До сих пор, говоря об адсорбции и катализе, мы обсуждали в основном роль электронной структуры поверхности. Естественно, однако, ожидать, что ее атомная структура должна играть в этих процессах заметную роль и серьезно изменяться. В последние годы появилось много экспериментальных данных, подтверждающих эту точку зрения. Так, адсорбция углерода на поверхности (110) в золоте снимает реконструкцию 2×1 ; для адсорбции разных атомов на поверхности (111) в кремнии наблюдались реконструкции $3 \times \sqrt{3}$, 5×5 , $\sqrt{19} \times \sqrt{19}$ и т. д., не существующие на чистой поверхности; при адсорбции нафталина на поверхности (111) в платине возникает структура 6×3 . Еще более сложная асимметричная структура возникает при адсорбции бензола на поверхности (111) в родии. При этом сильно и асимметрично деформируется и сама молекула бензола: некоторые ее связи удлиняются почти на 30% и легко рвутся при повышении температуры¹⁴. Однако, пожалуй, наиболее драматична роль перестроек атомной структуры поверхности при окислении молекулы CO на поверхности (100) в платине¹⁵. Выше

¹⁰ Ibach H., Mills D. L. *Electron Energy Loss Spectroscopy*. N. Y., 1982; Shayegan M. et al. — *Phys. Rev. Lett.*, 1984, v. 53, p. 1578.

¹¹ Stör J. et al. — *Phys. Rev. Lett.*, 1983, v. 51, p. 2414.

¹² Hoffmann F. M., Paola R. A. de. — *Ibid.*, 1984, v. 52, p. 1697.

¹³ Sette F. et al. — *Ibid.*, 1985, v. 54, p. 935.

¹⁴ Hove M. A. van et al. — *Ibid.*, 1983, v. 51, p. 778.

¹⁵ Cox M. P., Ertl G., Imbihl R. — *Ibid.*, 1985, v. 54, p. 1725.

уже говорилось, что химическая активность этой поверхности в исходном и реконструированном 5×20 состояниях сильно различается. При адсорбции на ней более половины монослоя CO реконструкция исчезает, а сами адсорбированные молекулы образуют упорядоченную структуру 2×2 . На такой перереконструированной поверхности адсорбируется и кислород, в результате чего может эффективно протекать реакция окисления CO в CO_2 . При некоторых условиях (температуре и давлении газов над поверхностью) скорость этой реакции самопроизвольно начинает сильно осциллировать с периодом около 1 мин. Как выяснилось, эти осцилляции связаны с периодически повторяющейся перестройкой поверхности из реконструированного состояния в перереконструированное и обратно. Более того, оказалось, что перестройка имеет волнообразный характер, т. е. вдоль поверхности движутся со скоростью порядка 1 см/мин периодически сменяющие друг друга реконструированные и перереконструированные участки. При этом на одних участках адсорбированные атомы накапливаются, а на других они быстро вступают в реакцию.

Еще один яркий пример активного участия реконструкции поверхности — адсорбция водорода на грани (100) в палладии. Водород легко и в больших количествах растворяется в твердом палладии и некоторых других переходных металлах. Однако при низких температурах (100 K) этот процесс характеризуется интересными особенностями¹⁶. При адсорбции до одного монослоя водород вообще не попадает внутрь кристалла, оставаясь на поверхности и приводя к ее реконструкции 2×1 . Когда же на поверхности накапливается около 1,5 монослоя, она резко перестраивается: поверхностные атомы смещаются так, что в каждой элементарной ячейке как бы открываются поры и примерно треть атомов водорода проникает внутрь кристалла. При дальнейшей адсорбции процесс этот может повторяться.

Все эти факты наглядно демонстрируют, что поверхность кристалла — крайне лабильная (изменяемая) система, реагирующая специфически на каждый вид атомов и молекул. Невольно напрашивается аналогия с гораздо более высокоорганизованными системами — ферментами, у которых пространственная структура и ее перестройка также играют решающую роль

в катализе биологических реакций. Правда, у поверхности нет той избирательности, которой природа наделила ферменты (каждый — для катализа одной реакции). Тем не менее весьма вероятно, что исследование поверхностей кристаллов и процессов на них на электронно-атомном уровне, которое, по существу, только начинается, даст возможность эффективно управлять многими физическими и химическими процессами.

ПОВЕРХНОСТИ РАЗДЕЛА, ГЕТЕРОПЕРЕХОДЫ, КВАНТОВЫЕ ЯМЫ, СВЕРХРЕШЕТКИ И Т. П.

Эта статья, посвященная в основном электронной и атомной структурам внешних поверхностей кристаллов, была бы неполна без хотя бы краткого рассмотрения свойств внутренних границ раздела, на которых, как уже отмечалось, также могут создаваться таммовские состояния. Атомная структура такой поверхности также может отличаться от структур обоих граничащих кристаллов. По существу, это следующее звено в цепи «чистая поверхность — поверхность со слоем адсорбированных атомов — граница раздела», поскольку совершенную поверхность раздела удастся получить только постепенным наращиванием монослоев одного кристалла на чистой поверхности другого. С такой точки зрения адсорбция — первый шаг в образовании границы раздела. В частности, возникающие при адсорбции перестройки электронной и атомной структур могут еще изменяться при наращивании последующих одного-двух атомных слоев, но затем фиксируются, и граница раздела приобретает свой окончательный вид, если только не происходит интенсивная диффузия атомов одного кристалла в другой, когда резкой границы нет вообще.

Систематических исследований образования границ раздела в процессе роста кристаллов пока немного. Они еще труднее, чем изучение чистой поверхности, ибо эффективность большинства экспериментальных методов, разработанных для анализа поверхностей, основана как раз на том, что зондирующие частицы не проникают в глубь кристалла и несут информацию только о свойствах его внешней поверхности. Однако необходимость таких исследований для физики твердого тела и электроники в последние годы становится, как будет видно из дальнейшего, все очевиднее.

Одно из важнейших технологических

¹⁶ Rieder K. H., Baumberger M. B., Stoenner W. — Ibid., 1983, v. 51, p. 1799.

достижений физики твердого тела за последнее десятилетие — создание методов выращивания совершенных кристаллов с изменяющимся в пространстве составом.

Пример такой искусственной структуры, состоящей из чередующихся слоев двух разных полупроводников с различной шириной запрещенной зоны E_{g1} и E_{g2} , приведен на рис. 6. Резкие искривления энергетических зон обоих полупроводников вблизи границ раздела отражают изменения электростатического потенциала U в системе.

Работа выхода в полупроводниках

границе¹⁷. Смещение зон вызывает заметное перераспределение электронов и дырок: электроны собираются преимущественно на «дне» (в самых низких местах) изначально незаполненных зон, а дырки — под «крышей» заполненных. Так, на рис. 6 электроны концентрируются в середине слоев полупроводника 1 (с узкой запрещенной зоной), а дырки — вблизи границ в полупроводнике 2.

Подбор различных пар полупроводников и внешних электрических полей открывает совершенно новые перспективы

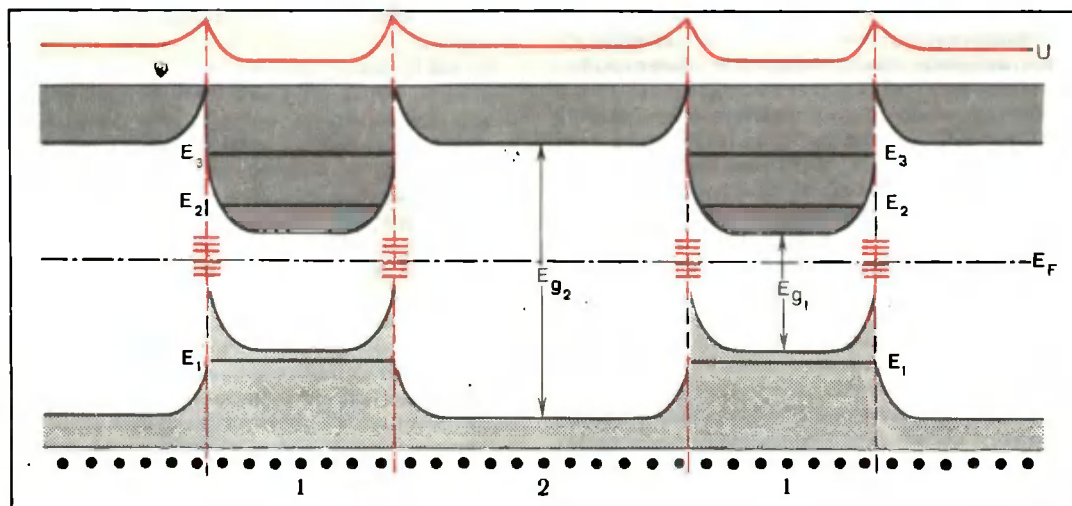


Рис. 6. Энергетический спектр в сверхрешетке из чередующихся слоев двух различных полупроводников 1 и 2 с разной шириной запрещенной зоны (E_{g1} и E_{g2} соответственно). Искривы зон вблизи контактов обусловлены видом электростатического потенциала U , возникающего вследствие переходов части электронов из одного полупроводника в другой (из-за различия работ выхода). Часть электронов при этом «оседает» на таммовских уровнях. При очень узких слоях одного полупроводника [1] разрешенные зоны в них превращаются в наборы дискретных уровней $[E_1, E_2, E_3]$.

различна, и при их контакте электроны перетекают из одного полупроводника в другой до тех пор, пока образующаяся при этом разность потенциалов не выровняет положение их уровней Ферми. Если на поверхности раздела в интервале энергий, попадающем в запрещенные зоны обоих полупроводников, существуют таммовские состояния, то значительная часть зарядов скапливается на них и в большой мере определяет вид потенциального барьера на

управления электронными процессами в таких структурах. Подобные системы, созданные впервые Ж. И. Алферовым более 10 лет назад и получившие название гетероструктур, нашли широкое применение в современной полупроводниковой и оптоэлектронике¹⁸.

Еще сильнее меняется электронный спектр, если толщины чередующихся кристаллических слоев очень малы — несколько межатомных расстояний. При этом электроны оказываются запертыми в микроскопически узких областях (слои полупроводника 1 на рис. 6). По законам квантовой механики это ведет к квантованию их энергий, т. е. уровни, как в потенциальной яме, образуют дискретный набор вместо сплошного в разрешенных зонах исходного полу-

¹⁷ Именно к этому сводилось упомянутое выше предположение Дж. Бардина, высказанное 35 лет назад.

¹⁸ См.: Алферов Ж. И. Гетеропереходы в полупроводниковой электронике близкого будущего. — В кн.: Физика сегодня и завтра. Под ред. В. М. Тучкевича. Л., 1973.

проводника (три таких уровня показаны для примера на рис. 6). Поэтому подобные структуры получили название квантовых ям.

Если же и слои полупроводника 2 тоже очень тонкие, то электроны могут туннелировать из одной ямы в другую через область запрещенных энергий в полупроводнике 2. Из-за возникающего при этом взаимодействия ям электронные уровни в них снова расплываются в зоны, но уже очень узкие — так называемые мини-зоны. Такого рода многослойные структуры принято называть сверхрешетками, так как они образуют периодическую структуру (решетку), наложенную на атомную кристаллическую структуру.

Положения уровней в квантовых ямах, положения и ширины мини-зон в сверхрешетках зависят от толщины слоев и свойств границ раздела. В таких системах уже постепенно стирается различие между таммовскими (поверхностными) и блоховскими (объемными) состояниями, поскольку первые, как мы видели, также проникают на несколько межатомных расстоя-

ний в глубь кристалла. В этом смысле можно сказать, что квантовые ямы и сверхрешетки полностью состоят из поверхностей.

*

Таким образом, комбинируя различные исходные полупроводники и металлы, а также варьируя толщины их слоев, можно направленно создавать системы с практически любыми электронными спектрами. Но именно электронная структура определяет электрические, магнитные, оптические и многие другие свойства вещества. Поэтому есть все основания ожидать, что могут обнаружиться и совершенно новые физические явления, и широчайшие возможности для их практических применений. В последние годы в научной литературе даже получил распространение термин *band structure engineering* (инженерия электронных спектров) — современная физика твердого тела и различные области ее применения от исследования существующих веществ и конструирования из них различных устройств начинают переходить к конструированию самих веществ.

К ЧИТАТЕЛЯМ «ПРИРОДЫ»

Продолжается подписка на журнал «Природа».

Оформить подписку с доставкой с № 1 1986 г. можно до 1 ноября 1985 г.

С 1 ноября подписка будет приниматься с доставкой с № 2 и последующих номеров 1986 г.

Подписка проводится без ограничений предприятиями «Союзпечати», отделениями связи и общественными распространителями печати по месту работы, учебы и жительства.

Цена подписки:

на год — 9 р. 60 к.

на полугодие — 4 р. 80 к.

на квартал — 2 р. 40 к.

Цена одного номера — 80 к.

Индекс 70707.

Обо всех случаях отказа в подписке просим сообщать в редакцию журнала по адресу: 117049, ГСП-1, Москва, Мароковский пер., 26.

Литофагия и геология

А. М. Паничев



Александр Михайлович Паничев, младший научный сотрудник отдела геоморфологии Тихоокеанского института географии ДВНЦ АН СССР. Изучает закономерности формирования природных зверовых солонцов, их связь с месторождениями полезных ископаемых.

Издавна известно, что дикие животные, особенно травоядные и всеядные, поедают некоторые разновидности горных пород и почв, причем в дозах далеко не гомеопатических. К примеру, один олень (изюбр или марал) на протяжении нескольких дней может съесть по 5 кг глины.

В 1922 г. сибирский геолог П. Л. Драверт, обративший серьезное внимание на это явление, ввел в научную литературу термин литофагия (от греч. λίθος — камень, φάγος — пожирающий)¹. В 20-х годах зоологи начали интересоваться местами, где дикие животные поедают горные породы и почвы, а также пьют минерализованную воду. В настоящее время такие места обнаружены повсюду, где обитают травоядные.

Тем не менее состав «съедобных» пород во всем его разнообразии, закономерности их формирования и размещения, а также причины литофагии еще недавно оставались неизвестными. Это не удивительно, поскольку речь идет об установлении связей между предметами и явлениями, которые с одной стороны обычно рассматривают геологи, и с другой — биологи.

В начале 80-х годов в Тихоокеанском институте географии ДВНЦ АН СССР была организована группа для изучения пород и почв, поедаемых животными в горах Сихотэ-Алиня. В нее вошел и автор этой статьи.

Первым этапом нашей работы было составление карты распространения зверовых солонцов. Так принято именовать интересующие нас объекты в зоологической литературе. Однако, видимо, стоит подчеркнуть, что зверовые солонцы нельзя отождествлять с типами почв, называемыми солонцами и солончаками, хотя по происхождению солевых компонентов грунты зверовых солонцов могут быть с ними схожими. Чтобы избежать терминологической путаницы, мы пользуемся прилагательным «солонечный» (вместо солонцовый или солончаковый) для понятий, относящихся к зверовым солонцам.

В ходе полевых исследований нами было обнаружено и нанесено на карту около 300 зверовых солонцов. При сравнении составленной карты с геологическими и морфоструктурными картами региона оказалось, что все зверовые солонцы приурочены к крупным зонам разломов в земной коре.

Кроме того, выяснилось, что существуют две группы зверовых солонцов. Одна образована постоянно или периодически действующими источниками минеральных

¹ Драверт П. Л. О литофагии. — Сибирская природа, 1922, № 1, с. 3.

вод, вторая — выходами на поверхность собственно «сѣдобных» пород.

Внешние зверовые солонцы первой группы (мы называем их гидроморфными) — это лишенные растительности ровные площадки или обводненными зонами (выходами минерализованных вод), иногда топкие торфянистые или глинисто-илистые участки с отдельными деревьями и кустарниками, среди широких, сильно заболоченных речных пойм или вскрытые животными торфяно-илистые окна на фоне густой лугово-болотной растительности. Повсюду на зверовых солонцах этого типа следы пребывания животных — истоптанные площадки, подъездные деревья и кочки, ямы.

В минерализованных водах источников на гидроморфных солонцах общая минерализация в большинстве случаев колеблется от 0,8 до 2 г/л, pH изменяется от 6 до 8,5. В составе вод преобладают гидрокарбонат-ион и натрий, гораздо меньше в них сульфатов и хлора. Кроме того, для солонечных вод характерны повышенные концентрации железа и кремния.

Солонечные грунты первой группы — это наносные илы, почвы, песчано-глинистые горизонты под ними, содержащие некоторую долю отложений источников — обычно опаловидного кремнезема и карбонатов. Грунты обогащены натрием и кальцием, а также железом, ванадием, кобальтом, цинком, серебром, бором, литием, барием, стронцием, скандием, медью, свинцом. Часто в них повышено содержание серы и хлора.

Вторая группа зверовых солонцов, названная нами литоморфными, представляет собой относительно сухие обнажения кор выветривания, основа которых — вулканические, вулканогенно-осадочные, реже магматические и осадочные породы. Для них характерен своеобразный микрорельеф, сформированный водными потоками, а также зубами и копытами животных.

На зверовых солонцах второй группы животные поедают почвы, размягченные в процессе выветривания, увлажненную или сухую породу из коренных обнажений. В меньшей степени пьют грунтовые или трещинные воды из родников или обводненных зон. Химические анализы таких вод показывают их слабую минерализацию с преобладанием ионов натрия, магния и гидрокарбоната. Ионный состав их формируется главным образом в результате выщелачивания неглубоко залегающих солонечных пород. Следует отметить также, что для этих вод характерно высокое со-

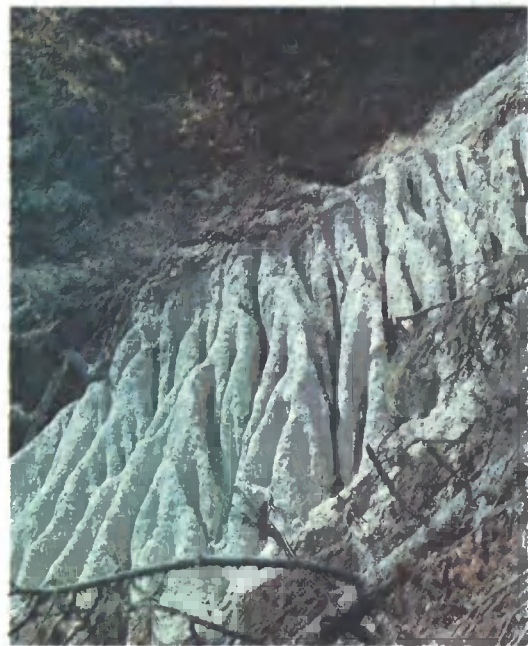


Распространение зверовых солонцов в Приморском крае. Большинство из них приурочено к зонам глубинных разломов.

-  Районы с многочисленными зверовыми солонцами и единичные зверовые солонцы
-  Области распространения вулканических пород
-  Главнейшие зоны глубинных разломов



Лосиха в стадии интенсивной линьки на зверовом солонце. Основная порода солонца — цеолиты.



Литоморфный солонец (кора выветривания в туфах кислого состава) в верховье р. Пещерки.

держание кремния, которое нередко превышало 50 мг/л.

В грунтах второй группы зверовых солонцов в небольших количествах могут концентрироваться натрий, кальций, алюминий, железо, марганец, барий, стронций, селен, скандий, уран, цирконий, мышьяк, молибден, серебро. Как правило, низки содержания серы. Исключения составляют грунты на основе некоторых осадочных пород. Содержание хлора, бора и фтора в них сильно меняется, а pH колеблется от 6 до 9,5.

Особо отметим, что в грунтах всех изученных нами зверовых солонцов выявлены минералы глин с преобладанием монтмориллонита, цеолиты, свободная окись кремния (опаловидный кремнезем),



Типичный гидроморфный зверовой солонец в пойме р. Большой Светловидной (бассейн р. Бикин).

содержание которой иногда превышало 50 %. Нередко солонечная порода целиком состояла из опалового вещества, глинистых минералов или скрытокристаллических агрегатов цеолитов.

Микробиологические исследования, выполненные под руководством Л. Н. Шаповой в лаборатории микробиологии Биолого-почвенного института ДВНЦ АН СССР, показали, что коры выветривания в точках поедания густо населены почвенными микроорганизмами, причем нередко больше, чем верхний горизонт почв, характерных для тайги Сихотэ-Алиня. Для солонечных веществ, в отличие от внешне аналогичных фоновых образований и почв, характерна резкая обедненность их грибами и актиномицетами (группы с чертами

организации бактерий и простейших грибов).

Приуроченность зверовых солонцов к зонам долгоживущих глубинных разломов свидетельствует об особом значении тектонического фактора в их образовании. Несомненно, что в формировании «съемных» грунтов принимали участие мало-сульфидные натровые гидротермы (горячие растворы), циркулировавшие по трещинам в периоды активизации движений земной коры. При этом первично отложенные особенно богатые вулканическим стеклом породы подвергались цеолитизации и аргиллизации (оглиниванию). В дальнейшем такие породы, выветриваясь, разрыхлялись. Так в общих чертах образовались «съемные» грунты большинства литоморфных зверовых солонцов.

«Съемные» грунты гидроморфных зверовых солонцов формировались под воздействием агрессивных (способных оглинивать породы) холодных минерализованных вод источников, которые выходили

на поверхность по сравнительно молодым тектоническим трещинам.

Единственный из довольно легко растворимых химических элементов, обнаруживаемый в солонечных грунтах по сравнению с аналогичными несолонечными, — натрий. В «съедобных» грунтах натрий обычно находится в форме поглощенных коллоидными частицами или цеолитами ионов, реже в форме солевых соединений: гидрокарбонатов, сульфатов и очень редко хлоридов. Следует отметить, что содержание способного усваиваться в желудке животных натрия в солонечных грунтах очень незначительно и никогда не превышает 1 % от массы породы.

Опыты по скармливанию диким животным в естественных условиях различных растворимых в воде солей (22 разновидности), проводившиеся американскими исследователями, показали, что животные предпочитают исключительно соли натрия. При этом в первую очередь они выбирают бикарбонат натрия, а когда его нет — хлористый натрий, иодистый и фосфорнокислый натрий.

Однако известно, что натрий в солевой форме поедается животными не столь хорошо, как та же соль, смешанная с почвой или глиной. Так, зоолог Ф. Д. Шапошников, наблюдавший за маралами на зверовых солонцах на Алтае, заметил, что олени с явными признаками расстройства пищеварения после поедания глины выздоравливали. Он сделал вывод, что помимо солей натрия животные ищут и какие-то другие вещества². Как мы выяснили, на зверовых солонцах Сихотэ-Алиня всегда присутствуют вещества с ярко выраженными сорбционными свойствами: глинистые минералы, цеолиты, гидроокислы железа и марганца, почвенный гумус, коллоиды кремния, насыщенные поглощенными ионами, среди которых преобладает натрий, а также живыми микроорганизмами и продуктами их метаболизма.

Основной причиной сбоев в пищеварении у жвачных чаще всего бывают дисбактериозы, т. е. нарушения в составе и количестве микрофлоры рубца, например, в результате попадания туда большого количества инородных микроорганизмов. Известно также, что сильное влияние на микрофлору пищеварительного тракта могут оказывать резкие изменения физико-химических параметров химуса (содержимо-

го желудка и кишок), например, при смене кормового рациона или воспалительных процессах в организме.

Очевидно, чтобы нормализовать пищеварение в подобных случаях, необходимо восстановить в пищеварительном тракте физико-химическое и микробиологическое равновесие; его можно достичь путем регуляции соотношения в рационе химических элементов, сорбентов, полезных микроорганизмов или стимуляторов их роста.

Ярко выраженная периодичность использования животными зверовых солонцов (весна — осень), совпадающая по времени с их экстремальными физиологическими состояниями (сезонная смена кормового рациона, линька, отел, рост рогов, гон), явные терапевтические эффекты, отмеченные у животных после употребления глины, свидетельствуют о лечебной сущности литофагии и благотворном воздействии солонечных веществ на организм животных.

Важнейшую функцию по поддержанию ионного равновесия в начальных отделах желудка жвачных выполняют слюнные железы. Слюна (у оленей в сутки ее вырабатывается около 15 л), основными компонентами которой являются ионы гидрокарбоната и натрия, попадая в рубец, поддерживает в нем необходимое ионное равновесие. Если в пище содержание калия начинает резко преобладать над содержанием натрия (растения в начальной стадии вегетации или их плоды содержат много калия), то, чтобы восстановить необходимое соотношение между ионами, видимо, в рацион питания достаточно ввести натриевые соли. Относительное равновесие может быть достигнуто также путем введения сорбентов, которые избирательно поглощают и выводят калий из организма, поскольку калий, в отличие от натрия, прочнее удерживается в адсорбированном состоянии.

Справедливость этих предположений была проверена путем сопоставления химического состава разнообразных солонечных грунтов и тех же грунтов, выделенных из фекалий лосей и изюбров. В одних случаях отмечалось достоверное уменьшение содержания натрия и увеличение калия за счет пропорционального катионного обмена, в других — только увеличение калия за счет избирательной адсорбции.

Результаты опытов свидетельствуют об участии природных сорбентов в регуляции ионного равновесия в пищеварительном тракте, причем по сравнению с чистыми солями натрия их действие при необхо-

² Шапошников Ф. Д. — Бюлл. МОИП. Отд. биол., 1953, т. 18, вып. 1, с. 13.

димости может не вызывать абсолютного увеличения концентрации ионов, что чрезвычайно важно для сохранения водно-солевого равновесия в организме в целом.

Существуют данные о том, что сорбенты могут оказывать непосредственное сильное влияние на микроорганизмы, стимулируя развитие одних видов и подавляя другие. В частности, известно, что глинистые минералы усиливают анаэробное брожение (спиртовое, ацетоно-бутиловое, пропионовокислотное, метановое) и в то же время способны подавлять развитие грибной микрофлоры³.

Анализ ряда отобранных нами солонечных грунтов, содержащих цеолиты, монтмориллонит и опалит, на бактерицидность и фунгицидность, выполненные биологами Ю. Н. Бронниковым и Н. В. Благовой во Владивостокском государственном медицинском институте, показали, что они содержат вещества, убивающие кандиды и пеницилловую плесень, что, вероятно, и объясняет обедненность солонечных веществ грибной микрофлорой. Следует вспомнить свойство многих микроорганизмов адсорбироваться на поверхности твердых веществ (обломков кристаллов, стекол, коллоидных частиц), подобно ионам. Оказывается, многие из населяющих пищеварительный тракт бактерий не обладают такими свойствами (в частности, кишечная палочка), а ряд патогенных — обладают (например, те же кандиды — возбудитель острых желудочно-кишечных заболеваний людей и животных⁴).

Следовательно, при прохождении по пищеварительному тракту сорбенты будут насыщаться патогенными микроорганизмами и «вредными» ионами и выводить их из организма. Кроме того, судя по литературным данным, гидрокарбонатно-натриевые воды благоприятно влияют на систему пищеварения, в том числе и путем воздействия на микрофлору пищеварительного тракта.

Если учесть, что у жвачных животных, помимо кишечного биоценоза, огромную роль в пищеварении играет микрофлора рубца, куда внешние микроорганизмы могут попадать, минуя кислотный барьер желудка (основной бактерицидный барьер), то становится очевидным, что живые микроорганизмы в пище (они, вероятно, компонент большинства солонечных

веществ) — важнейший фактор внешнего воздействия на пищеварительную систему этих животных.

Среди минеральных веществ, обнаруженных во всех солонечных грунтах, особо следует отметить доступные для усвоения формы кремния. Известно, что кремний обладает высокими биоактивными свойствами. В частности, доказано, что его добавление к рациону ускоряет минерализацию костей, даже при низком содержании в пище кальция⁵. Вероятно, поэтому олени наиболее охотно поедают высококремнистые глины и цеолиты в период роста молодых рогов. Кремний также сильно влияет на возобновление и рост шерсти. Поэтому, видимо, животные ищут дополнительные источники этого элемента в период весенней и осенней линьки. Кстати сказать, живущие в неволе обезьяны часто теряют шерсть, когда же их выпускают в вольеры, они поедают глину, содержащую много кремния, отчего волосяной покров у них восстанавливается⁶.

Несмотря на то что многое в механизме действия солонечных веществ на организм животных пока неясно, несомненно, что стремление к литофагии связано с истощением в организме адаптивных возможностей под давлением различных факторов окружающей среды. Наиболее контрастна среда обитания диких животных в горных районах, особенно там, где преобладают вулканические породы. Здесь и зверовые солонцы наиболее разнообразны и многочисленны.

Следует подчеркнуть, что не всегда места, где животные поедают породы, уже приобрели характерный облик зверовых солонцов. Это зависит от степени концентрации «съедобного» грунта в ландшафте и его «посещаемости» животными. Однако ярко выраженные, привлекающие большое количество животных зверовые солонцы становятся чрезвычайно важным и легко уязвимым компонентом природных ландшафтов. Настало время остро ставить вопрос об их изучении, охране и рациональном использовании.

⁵ Воронков М. Г., Кузнецов И. Г. Кремний в живой природе. Новосибирск, 1984.

⁶ Там же.

³ Звягинцев Д. Г. Взаимодействие микроорганизмов с твердыми поверхностями. М., 1973.

⁴ Там же.

Искусство каменного века Восточной Прибалтики

И. А. Лозе,
кандидат исторических
наук
Рига

Изучение археологических культур помогает восстановить образ хозяйственной жизни древнейших обитателей той или иной территории. В данном случае речь пойдет о Восточной Прибалтике.

В руках археологов и палеозоологов находятся значительные материалы, свидетельствующие о том, что племена, обитавшие в этом регионе в эпоху камня, вели охотничье хозяйство. Почти на каждом поселении того времени на территории Восточной Прибалтики сохранились остатки фауны. Специалистам, таким образом, хорошо известен видовой состав животных, бывших объектом охоты. Однако при создании экономической модели неолита и мезолита ученые используют не только палеоисторические данные, но и «малые формы» искусства: тематические рисунки на поверхности костяных и роговых изделий, костяную, роговую и деревянную скульптуру, мелкую глиняную и янтарную пластику.

В конце предбореального (10 000—9000 лет назад) или в начале бореального (9000—8300 лет назад) климатического периода с территории Восточной Прибалтики исчезает северный олень, один из главных объектов охоты позднелепольского и раннемезолитического времени. Однако человек эпохи раннего мезолита, обитавший на берегу р. Ужavy к югу от современного г. Вентспилса (Латвийская ССР), успел изобразить именно этот вид оленя (*Rangifer tarandus* L.) на костяном кинжале. Исполнен рисунок весьма условно. Животное изображено в профиль с вытянутым туловищем и округленной задней частью. Голова сливает-



ся с туловищем, рога намечены двумя штрихами. Передние и задние ноги имеют характерные для этого вида оленя пропорции.

Кинжал с изображением северного оленя — случайная находка. Вместе с другими предметами ранне- или среднемезолитического времени он был

Костяной кинжал со схематическим изображением северного оленя. Мезолит.

Силуэтное изображение лося, вырезанное из ребра крупного животного. Неолит.

Костяная скульптура кабана. Поздний неолит.

«вымыт» из культурного слоя поселения в русло реки. Чтобы правильно датировать этот рисунок, его нужно было сравнить с другими, стилистически однородными. Для этого был использован антропоморфный рисунок

на кости тура (*Bos primigenius* Boj), обнаруженный в Риemarkс-гардене на территории Ютландии. Условная манера изображения людей из Ютландии и животного с р. Ужавы позволяют отнести их к одному времени.

К какому же? Спорово-пыльцевой анализ с датского рисунка свидетельствует о том, что он был создан в бореальный климатический период.

Надо сказать, что подобные изображения на костяных изделиях эпохи мезолита чрезвычайно редки. Поэтому находка на р. Ужаве уникальна. А были ли такие изображения в неолите — неизвестно. Для этого периода характерны разного рода скульптуры. Более всего мезолитический и неолитический человек охотился на лося (*Alces alces* L.). Его скульптурная головка на роговом ритуальном жезле из поселения Швянтойи близ Паланги, который был сделан 4700—4500 лет назад, является истинным шедевром первобытного искусства. Удивительно правдоподобно древний резчик изобразил голову лося, подчеркнув горбатый нос, припухшую верхнюю и опущенную нижнюю губу, наметив зубы и ноздри, широкие выпуклые глаза и шейную гриву. Длина жезла всего 44 см. Передняя часть морды вырезана на розетке рога, уши — из глазного отростка, вся остальная часть рога отсечена и имеет четырехугольное поперечное сечение. Подбородок, на котором торчит выступ, украшен «елочным» орнаментом в два ряда, что, по-видимому, должно изображать бороду. Лобная часть и уши скульптурки пересекают тонкие нарезные перекрещивающиеся линии. Древний резчик изобразил лося в реалистической манере, отличной от того условного стиля, в котором был исполнен рисунок северного оленя на кинжале, найденном на р. Ужаве.

Жезл с головой лося использовался, очевидно, для ритуальных целей — в обрядах, которые совершались, чтобы охота была удачной. Культ этого животного, по-видимому, процветал на всей территории лесной полосы Северо-Западной части СССР, так как жезлы с лосяной головой обнаружены в других местах, в частности — на Оленьем о-ве Онежского озера, в устье Малмуты в Лубанской низине, что на востоке Латвии, на берегах Нарвы и Выханду, на юго-востоке и северо-востоке Эстонии и т. д. Однако голова лося на жезле из Швянтойи



Роговая скульптура бобра. Средний неолит.

Янтарная фигурка медведя. Поздний неолит.



Деревянная скульптура головы утки. Ранний неолит.

Роговая скульптура головы лося на ритуальном жезле. Ранний неолит.

является одним из лучших скульптурных изображений на территории лесной полосы Европейской части СССР, Зауралья и др. От других фигурок ее отличают более тонкие черты и тщательная проработка деталей.

Единственное до сих пор известное силуэтное изображение лоса, вырезанное из ребра крупного зверя, найдено в Лубанской низине и датируется поздним неолитом (4100—3700 лет назад). Пропорции головы и туловища здесь полностью соблюдены. Но хотя ноги животного намечены всего лишь выступами, выпуклый лоб, шейные складки, горб на спине и короткий хвост — все эти характерные особенности именно лоса заставляют нас сразу же его узнать. Длина фигурки — 4,5 см. Отверстие, просверленное в центре, указывает, по всей вероятности, на то, что она подвешивалась к одежде.

Обычным объектом охоты в Восточной Прибалтике в эпоху неолита был кабан. Из кабаньих клыков в позднем неолите делались нашейные украшения. На поселениях Лубанской низины костных остатков этого животного больше, чем лосиных. Потому неудивительно, что кабан стал объектом искусства. Вот одна — плоская костяная — скульптурка изображает его в профиль. Голова занимает почти половину длины. Именно голова передает характерные для этой породы парнокопытных (*Sus scrofa* L.) черты — сильно приплюснутый нос, открытую пасть, выпуклости глаз. Туловище передано скупой: плоская и прямая спина, выступы ног. Древний резчик, по-видимому, не пытался воспроизвести животное «в натуре», нарочито придавая ему условную форму. Этой скульптурке из поселения Тамула на берегу Выханду в юго-восточной части Эстонии по радиоуглеродным данным $4050 \pm 180 / 4080 \pm 100$ лет.

Древние обитатели Восточной Прибалтики ценили пушнину, потому они нередко охотились на бобра, выдру и куницу. На поселениях сохранились изображения и этих животных. Вот, например, роговаяя — в несколько сантиметров — скульптура плывущего бобра

(*Castor fiber* L.) с короткими ушами и уплощенной головой треугольной формы. Выступами изображены короткие передние и задние ноги. Пушистый хвост размок в воде и выпрямлен. Можно только удивляться естественности и простоте позы животного, которую изобразил древний художник. А ведь этой скульптурке из средненеолитического поселения Валма на берегу оз. Выртсъярв в центральной части Эстонии около 4700—4300 лет.

Пушнина и железки бобра всегда высоко ценились. В раскопках археологов имеется множество данных, указывающих на большую роль этого животного в повседневной жизни. Резцами бобра украшалась одежда, а отдельные части туши или челюсти клались в могилу с покойником. Мясо бобра, по-видимому, было для древнейших обитателей восточноприбалтийского региона не меньшим лакомством, чем для североамериканских индейцев.

Палеозоологические исследования показали, что в эпоху камня популяции бобра на территории Восточной Прибалтики не истреблялись. Наоборот, сохранялось полное равновесие между «инженерами природы» — строителями плотин — и окружающим миром. Такое положение оставалось вплоть до XIII в.

На поздненеолитическом поселении Тамула в женском захоронении была найдена янтарная фигурка медведя (*Ursus arctus* L.). Его голова с отчетливо выделенной мордой, плоским носом и ушами занимает почти треть всей длины фигурки. Для ее изготовления мастер подобрал янтарь высшего качества — прозрачный. Два просверленных отверстия указывают на то, что фигурка прикреплялась к одежде или к какому-либо другому предмету.

На неолитических поселениях Восточной Прибалтики находят также просверленные у корня медвежьих клыки, которые были необходимы в охотничьих ритуалах, тем более что охота на медведя составляла значительный удельный вес в хозяйстве той эпохи. На различных поселениях Лубанской низины было обнаружено от 11 до 24 остатков медвежьих туш.

Предметом охоты древних племен были не только звери, но и птицы. В большинстве средне- и поздненеолитических поселений Восточной Прибалтики обнаруживаются кости и черепа водоплавающих птиц — утки, гуся, лебедя и др. Там же археологи находят и множество деревянных и костяных фигурок этих птиц, а также скульптурок, вырезанных из рога или янтаря, или просто — глиняных.

Скульптурное изображение головы утки на рукояти деревянного кошва отличается особой натуралистичностью. Древний резчик по дереву особенно тщательно создавал образ этой птицы — с тонким изгибом шейки и уплощенным клювом, птицы, которая играла важную роль в экономике и магических представлениях охотничьих племен Восточной Прибалтики. Эта скульптура из ранненеолитического поселения Сарнате к югу от г. Вентспилса, судя по радиоуглеродным данным, была вырезана 4500—4700 лет назад.

Перечисленные здесь образцы первобытного искусства показывают, как тесно это искусство было в ту пору связано со всем укладом жизни населения, в том числе с хозяйством. Они отражают охотничий, т. е. присваивающий, характер экономики эпохи камня Восточной Прибалтики, одновременно позволяя нам более полно представить быт древнего человека, отнюдь не «заземленный» или направленный, как это могло бы показаться на первый взгляд, исключительно на удовлетворение потребностей в пище или жилье. Творческое мышление сопровождало человека во всех перипетиях его жизни, на всех этапах его развития.

Холмистое дно океана

Д. Е. Гершанович,

доктор геолого-минералогических наук

Всесоюзный институт морского рыбного хозяйства и океанографии
Министерства рыбного хозяйства СССР

Москва

О. К. Леонтьев,

доктор географических наук

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

Последние 30 лет можно без преувеличения назвать временем крупных подводных географических открытий. На океаническом дне, занимающем более 70 % поверхности Земли, многочисленными экспедициями были открыты горные хребты огромной протяженности, глубоководные впадины, возвышенности, гигантские разломы, каньоны, высокие подводные горы и бесчисленные сравнительно небольшие холмы. При этом оказалось, что именно холмистый рельеф преобладает в глубоководной части океана, занимая около 140 млн км², т. е. 40 % площади дна Мирового океана. Это почти столько же, сколько занимает вся материковая суша.

Необычайно широкое распространение холмов, да и сами эти формы рельефа, несомненно, представляют огромный научный интерес. В последнее время их изучение приобретает и важное практическое значение, поскольку именно с ними пространственно связаны месторождения железо-марганцевых конкреций. Между тем о происхождении холмов, как и до недавнего времени о закономерностях их размещения на дне океана, мы знаем пока немного.

По современным представлениям, дно океана по наиболее крупным чертам строения делится на подводные окраины

материков, переходную зону, ложе океана и срединно-океанические хребты. Подводные материковые окраины разделяются на шельф, материковый склон и материковое подножье. Шельфы обладают земной корой континентального типа, для которой характерно трехслойное строение (осадочный, «гранитный» и «базальтовый» слои). Переходная область, расположенная с океанской стороны подводных материковых окраин, включает в себя котловины окраинных морей, отделяющие их от открытого океана островные дуги и вытянутые вдоль их внешнего края глубоководные желоба. Земная кора в пределах переходной зоны имеет мозаичное строение, здесь распространены участки земной коры континентального и океанического типов, а также переходные разновидности коры (субконтинентальные и субокеанические).

Обширные пространства дна океана (194 млн км²) занимает его ложе¹. Ему присущ океанический тип земной коры, отличающийся от континентальной тем, что мощность коры в 4—5 раз меньше, а в разрезе отсутствует «гранитный» слой. Океаническая кора состоит из осадочного слоя, подстилающего его второго слоя, сложенного в основном базальтами, и третьего слоя, образованного глубинными основными и ультраосновными породами. Для рельефа ложа океана характерно чередование очень крупных океанических котловин и разделяющих их хребтов, плато и возвышенностей. В целом рельеф ложа океана достаточно сложен.

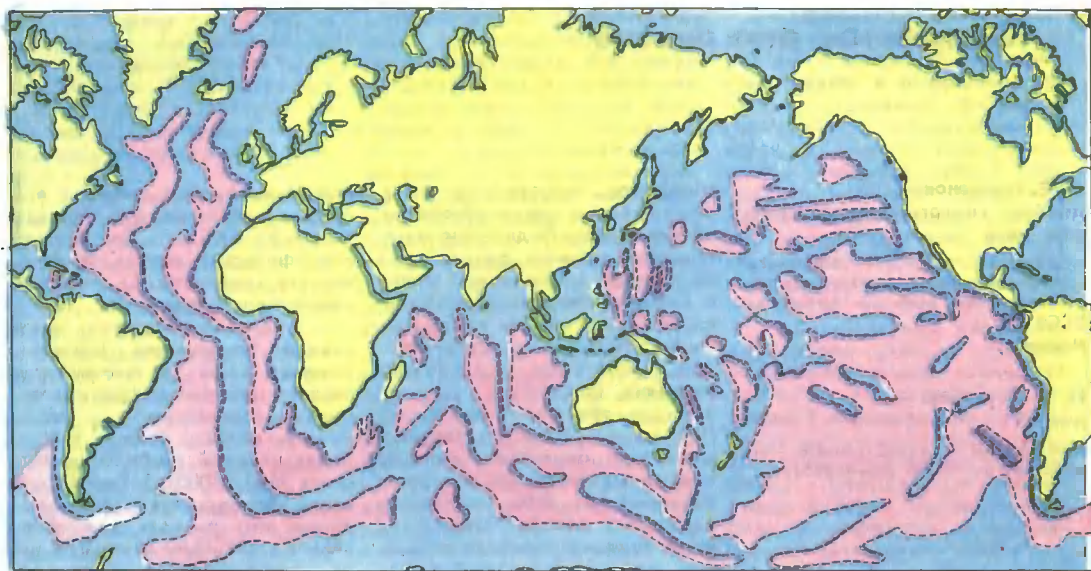
Срединно-океанические хребты представляют собой гигантскую систему поднятий океанского дна общей протяженностью около 60 тыс. км,

протягивающуюся через все океаны и занимающую площадь более 55 млн км². Они имеют специфические черты геологического строения, рельефа, сейсмичности и вулканизма.

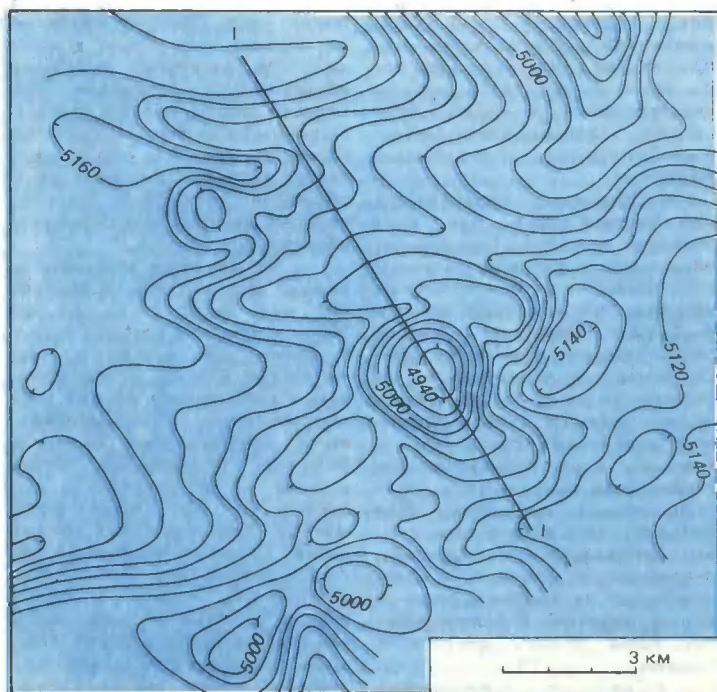
Ко дну котловин ложа океана приурочены равнины, которые из-за их гипсометрического положения принято называть абиссальными (абиссаль — область океана, в пределах которой глубины превышают 3500—4000 м). Еще 50 лет назад господствовало представление, что рельеф дна абиссальных котловин выровнен из-за накопления осадков. Но выяснилось, что скорость осадконакопления на ложе океана очень мала. Поэтому идеально выровнены лишь узкие участки дна. Их называют плоскими абиссальными равнинами. Несколько более распространены волнистые абиссальные равнины. Основную же часть дна океанических котловин занимает своеобразный холмистый рельеф, который мы называем рельефом абиссальных холмов.

Что же такое абиссальные холмы? Это выступы поверхности дна высотой от 50 до 500 м, основание которых имеет в плане или округлую, или вытянутую форму. Будем называть в дальнейшем первые изометрическими, а вторые грядовыми абиссальными холмами. Величина поперечника таких холмов — от нескольких сот метров до нескольких километров. Длина грядовых холмов может достигать нескольких десятков километров. Склоны холмов пологие — 1—4°, в редких случаях до 10—11°, вершины у них обычно почти плоские. Площадь, занимаемая отдельным холмом, может составлять несколько квадратных километров или десятков квадратных километров (у грядовых холмов). Расстояние между холмами неодинаково, но не меньше поперечника холма; площадь относительно выровненного дна между холмами обычно больше площади, занимаемой самими

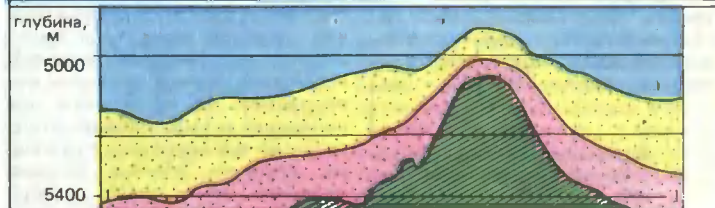
¹ Уровень берега и дно океана. М., 1978.



Основные зоны распространения абиссальных холмов в Мировом океане.



Абиссальные холмы в центральной части Тихого океана к северо-востоку от о. Рождества (по Т. Муру и Г. Хиту, 1967). Вверху — топография дна, внизу — разрез дна по профилю I—I.



- Неконсолидированные осадки
- Океанический фундамент

холмами. Основной метод обнаружения абиссальных холмов и их топографических параметров — это прецизионное эхолотирование, так как обычные эхолоты улавливают далеко не все абиссальные холмы.

Общее число абиссальных холмов не подсчитывалось, но оно, конечно, в тысячи раз больше, чем число подводных гор, для которых такие статистические подсчеты неоднократно проводились. Напомним, что подводными горами называют формы рельефа, имеющие высоту более 500 м, причем имеются горы высотой до 5 км, а, например, высота горы, увенчанной о. Реюньон в Индийском океане, даже более 7,5 км. По последним данным, только в Тихом океане насчитывают от 2200 до 5500 крупных подводных гор, а в Атлантическом и Индийском их значительно меньше, но и здесь их несколько тысяч. Статистический анализ распространения подводных гор разной высоты показал, что число малых гор резко возрастает с увеличением глубины ложа океана, а общее число всех подводных гор в Мировом океане, возможно, достигает 100 тыс.² Еще больше в океане абиссальных холмов, только в Тихом океане их не менее 1,5—3 млн, т. е. они как бы продолжают этот статистический ряд, что можно считать косвенным признаком общности происхождения подводных гор и абиссальных холмов.³

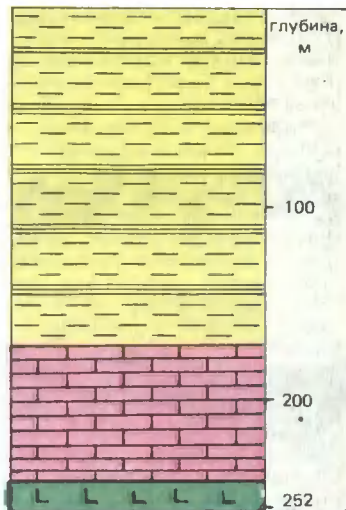
По геоморфологическим и геологическим признакам, подавляющее большинство подводных гор имеют вулканическое происхождение. Однако подводные горы не только крупнее, чем холмы. Крутизна их склонов гораздо больше (в среднем 10°, в отдельных случаях — десятки градусов), т. е. это гораздо более контрастные

формы, чем абиссальные холмы. Отлогость склонов холмов во многом обусловлена тем, что для геологического разреза любого холма всегда характерен поверхностный осадочный слой, который на подводных горах может отсутствовать. Существенное отличие подводных гор от абиссальных холмов и в том, что горы имеют глубинные корни, а холмы их не имеют.

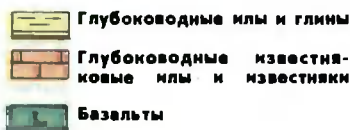
По данным американских картографов, изометрические холмы очень типичны для центральной части северной половины Тихого океана⁴. На востоке Тихого океана распространены грядовые холмы, ориентированные в меридиональном направлении. На западе северной части Тихого океана ориентировка холмов более разнообразна.

В общем, какой-либо закономерности в ориентировке грядовых абиссальных холмов подметить не удастся. В одних случаях они параллельны глубоководным желобам, в других — зонам разломов, в третьих — это относится, например, к Северо-Восточной котловине Тихого океана — перпендикулярны к ним. Не удастся обнаружить и какую-либо приуроченность абиссальных холмов к той или иной из зон океанической коры разного возраста. Пока можно только говорить о том, что грядовые холмы как-то связаны с разломами; холмы либо параллельны разломам, либо перпендикулярны им.

Американский исследователь Г. Менард, один из первых обративший внимание на абиссальные холмы, высказал предположение, что они являются неровностями «второго слоя» океанической коры⁵. По мнению Г. Менарда, холмы — это либо мелкие лакколиты (грибообразные внедрения магмы), либо небольшие вулканы или даже шлаковые конусы, перекрытые



Разрез в районе абиссальных холмов (скважина глубоководного бурения № 287 в Коралловом море).



глубоководными осадками. Действительно, на вершинах некоторых абиссальных холмов обнаружены обломки вулканических пород, которые вскрыты, видимо, донными течениями. Такие находки как бы еще раз подчеркивают сходство между абиссальными холмами и подводными горами.

Наиболее надежный ответ на вопрос о генезисе абиссальных холмов могли бы дать материалы об их внутреннем строении, но таких данных очень немного. Почти все скважины, которые бурились в океанических котловинах с бурового судна «Гломар Челленджер», оказались либо на плоских абиссальных равнинах, либо попадали на участки дна между холмами. Известны только две скважины, частично дающие представление о геологическом разрезе абиссального холма — это скважины № 53 и 287. Первая, пробуренная в Филиппинском море на склоне холма на глубине 4629 м, вскрыла 20-метровую толщу красной глины и

² Марова Н. А. — В сб.: Геология морей и океанов. V Школа морской геологии. Тезисы докладов. Т. 2. М., 1982; Batiza R. — Earth and Planetary Science, 1982, v. 60, p. 195.

³ Красный Л. И., Гершанович Д. Е. — В сб.: Геология морей и океанов. V Школа морской геологии. Тезисы докладов. Т. 2. М., 1982.

⁴ Chase T. E., Menard H. W., Mammrick S. M. Topography of the North Pacific. San Diego, 1971.

⁵ Menard H. W. Marine geology of the Pacific. N. Y., 1964.

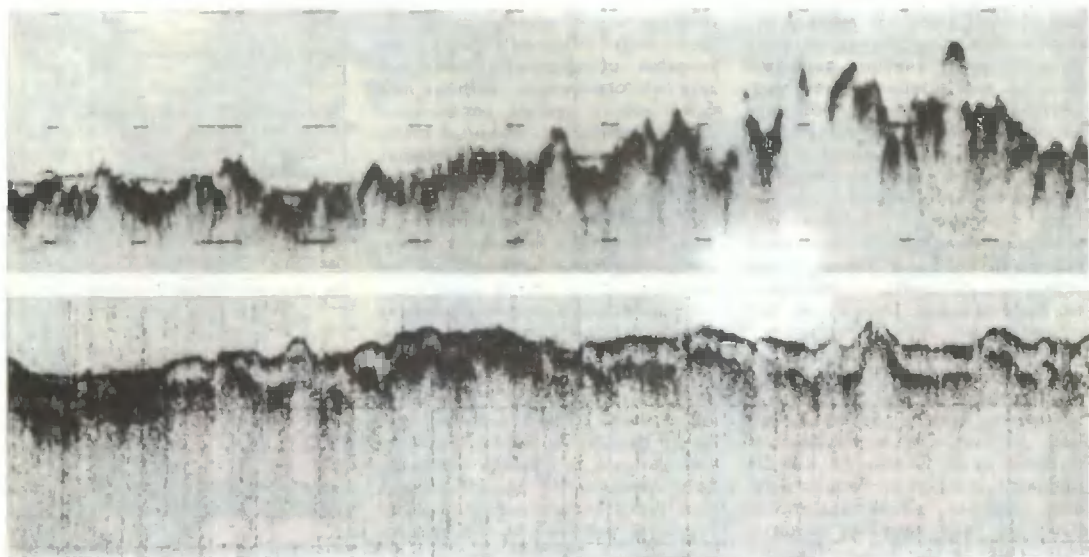


Схема профилей дна в районах развития абиссальных холмов: вверху — при частичном перекрытии абиссальными осадками (склон Восточно-Индийского хребта); внизу — при сплошном перекрытии абиссальными осадками (Центрально-Тихоокеанская котловина).

200-метровый слой вулканогенных илов, ниже располагалась базальтовая лава и вулканическая брекчия. Вторая скважина попала в склон абиссального холма на глубине 4632 м в котловине Кораллового моря⁶. Она вскрыла толщу известкового (кокколитового) ила толщиной 170 м и прошла слой красной глины и глубоководных известняков. На глубине 237 м скважина вошла в базальты. Обе скважины, таким образом, подтверждают, что ядро абиссального холма складывается вулканическими породами и перекрывается глубоководными осадками.

В активных вулканических зонах в пределах абиссальных глубин холмы, возможно, представляют собой мелкие вулканы. Холмистый рельеф прослеживается также в районах проявления гидротермальных процессов, например в зоне Галапа-

госского разлома. Абиссальные холмы обнаружены и на склонах срединно-океанических хребтов, где они, возможно, представляют собой неровности океанического дна, образованные тектоническими и вулканическими процессами.

Рельеф абиссальных холмов прежде всего наиболее характерен для котловин Тихого океана. Это основной тип рельефа и в Индийском, и в Атлантическом океанах, хотя здесь он менее распространен. Холмы широко распространены в некоторых морях переходной зоны, например в Филиппинском, Коралловом морях, в море Фиджи, а также на склонах срединно-океанических хребтов, а в Тихом океане даже в осевой зоне. С помощью эхолотирования абиссальные холмы не удается обнаружить на плоских абиссальных равнинах, на поднятиях ложа океана, в большинстве котловин переходной зоны, а также на подводных окраинах материков. Однако данные непрерывного сейсмоакустического профилирования, позволяющие заглянуть в толщу осадочного слоя, показывают, что и под наклонными равнинами континентального подножия, и под плоскими абиссальными равнинами, и под осадочными «шапками» на вершинах океанических возвышенностей абиссальные холмы имеются. Только

здесь они скрыты, погребены под толщей перекрывающих их донных отложений. По той же причине абиссальные холмы не выражены в рельефе дна приантарктических котловин Мирового океана.

Так, в котловине Беллинсгаузена, по данным глубоководного бурения (скважины № 322 и 323), мощность осадков на внешней окраине материкового подножия, выдвинутого здесь далеко в пределы развития океанической коры, т. е. практически в пределы ложа океана, составляет 1,5 км, а на плоской равнине Беллинсгаузена — 0,75 км, поэтому абиссальные холмы здесь полностью засыпаны осадками. Вероятно, по той же причине абиссальных холмов нет на поверхности дна Северного Ледовитого океана, так как мощность осадочного слоя в котловинах этого океана обычно не меньше 2 км. Если учесть, что на крупных площадях абиссальные холмы захоронены под толщей осадков, фактически они распространены значительно более широко, чем если об этом судить по современным картам рельефа дна⁷.

Стоит также отметить, что при детальном анализе карт

⁶ Initial Reports of D. S. D. P. Washington, 1971, v. 6; 1976, v. 30.

⁷ Атлас океанов. Т. I, 1974; т. II, 1977; т. III, 1980.

некоторых полигонов, составленных в крупном масштабе, можно видеть отдельные абиссальные холмы и в пределах рифтовой зоны некоторых срединно-океанических хребтов. По всей вероятности, абиссальные холмы в каком-то количестве сохранились и в зонах океанических разломов. По аналогии с материковым подножием можно предполагать, что и под осадочно-вулканогенными шлейфами, окаймляющими подножия крупных подводных океанических хребтов типа Гавайского или Маркус-Неккер, могут быть погребены абиссальные холмы.

В литературе не раз отмечались значительные отличия в геоморфологии и тектонике восточной и западной частей Тихого океана⁸. Несмотря на общее широкое распространение абиссальных холмов на ложе Тихого океана, в целом подводные горы преобладают в западной части океана, а абиссальные холмы — в восточной. Вместе с тем обилие последних в Филиппинском и некоторых других окраинных морях указывает, что котловины этих морей формировались на коре океанического типа.

⁸ Пушаровский Ю. М. Введение в тектонику тихоокеанского сегмента Земли. М., 1972; Геологическая неоднородность Тихого океана. — Природа, 1980, № 9, с. 117.

Таким образом, мы приходим к выводу, что рельеф абиссальных холмов — самый распространенный тип рельефа не только в пределах дна океана, но и вообще на поверхности Земли. Имеющиеся пока немногочисленные данные о геологическом строении абиссальных холмов позволяют присоединиться к мнению Г. Менарда о том, что они в подавляющем большинстве являются неровностями кровли вулканического слоя океанической коры, сложенного базальтами. Можно считать, что первоначально абиссальные холмы были распространены не только на ложе океана, но и в пределах других крупных структур. Отсутствие их в тех или иных районах ложа Мирового океана связано либо с позднейшей перестройкой рельефа (в зонах океанических разломов, на срединно-океанических хребтах), либо с тем, что холмы погребены под толщей донных осадков. Рельеф абиссальных холмов, следовательно, не только самый распространенный, но, пожалуй, и самый древний тип рельефа ложа океана, на который оказались наложенными более поздние образования — подводные горы и хребты, срединно-океанические поднятия, зоны океанических (трансформных) разломов.

Имеющийся пока материал о холмистом абиссальном рельефе в океане, безусловно,

недостаточен; необходимо проведение специальных исследований абиссальных холмов. Они не только приблизят нас к решению проблемы происхождения океанического рельефа и его истории, но позволят решить некоторые практические вопросы. Еще в 1979 г. П. Л. Безруков отметил, что наиболее высокая концентрация железомарганцевых конкреций характерна для склонов абиссальных холмов⁹. Выяснение связей между строением и размещением абиссальных холмов и особенностями глубоководного океанического оруденения может оказаться весьма актуальным при поисках месторождений минерального сырья на дне океана.

Мы все чаще сталкиваемся с тем, что небольшая мощность коры под дном океана способствует воздействию глубинных, эндогенных факторов на геоморфологию дна. Масштабы этих воздействий настолько значительны, что приводят к появлению на обширных пространствах таких форм рельефа, которых нет вне океана и которые занимают особое место в рельефе Земли в целом. К ним относится рельеф абиссальных холмов.

⁹ Безруков П. Л. Железо-марганцевые конкреции и руды. Океанология: геология океана. М., 1979.

НОВОСТИ НАУКИ

Геотектоника

Структура земной коры в Канаде

В 1984 г. завершилась первая фаза осуществляемого в Канаде крупного геофизического проекта ("Lithoprobe"), предусматривающего глубинное сейсмическое зондирование литосферы в интереснейших в геодинамическом и геологическом отношениях областях на территории страны. Одна из таких

областей, расположенная к югу от о. Ванкувер, представляет собой, как установлено, зону покровов, где тектоническая активность наблюдается в настоящее время. Здесь на протяжении 200 км был пройден сейсмический профиль методом отраженных волн. Высокое качество сейсмических записей позволило выявить область субдукции — погружения земной коры вместе с лежащими поверх нее осадочными породами.

В другой исследуемой области — Капускасингской структурной зоне Канадского щита — сейсмические профили

были проведены в основном методом преломленных волн. Установлено, что здесь существует несколько крутопадающих сейсмических горизонтов; их можно интерпретировать как докембрийские взбросы, в результате которых к поверхности была поднята нижняя часть континентальной коры.

Помимо этого (в рамках подпрограммы "Lithoprobe-East") проведены сейсмические профили через континентальный шельф Атлантического побережья Канады.

Episodes, 1984, v. 7, № 4, p. 34 (Канада).

Минералогия живописи

В. Н. Голубов



Валерий Николаевич Голубов, старший инженер-геолог Производственного комбината Художественного фонда СССР. Изучает геологию месторождений природных пигментов с целью расширения ассортимента художественных красок, выпускаемых на их основе. В «Природе» опубликовал статьи: Краски Дионисия и древний ледник (совместно с Л. П. Галдобинной), 1984, № 1; Забытый камень литографии (совместно с Р. Г. Бергом), 1984, № 8.

Сохранность произведений живописи при прочих благоприятных условиях зависит прежде всего от состава красок и способа применения их живописцами. Причем постоянные поиски новых материалов, совершенствование техники их применения сопутствовали не только развитию живописи, но и многих разделов естествознания. История использования красок — это история зарождения и развития важнейшего физического понятия цвета, история развития общей химии. К примеру, считается, что «...первые русские рецепты и записи (XV в.), содержащие сведения о составе, способах получения и применения пигментов и красок, действительно представляют собой первую русскую писаную химию, являются самой первой русской химической литературой»¹.

Палитра живописи мастеров отдаленных эпох обогащалась самими творцами, и нередко секреты красок того или иного мастера остаются тайной до настоящего времени. Именно эти тайны стараются познать специалисты-реставраторы для продления жизни выдающимся произведениям живописи. Но хотя оснащенности

реставрационных мастерских современной аппаратурой могут позавидовать многие научно-исследовательские институты, разгадать секреты старинных красок удастся далеко не всегда. Дело в том, что краски для живописи представляют собой сложные смеси, обладающие к тому же способностью стареть. Определить причины старения красок непросто, а иногда и невозможно. Здесь сказываются законы оптики, химический состав краски, структурное и минеральное состояние красящих компонентов. По этой причине краски становятся объектом внимания физиков, химиков, технологов и ... геологов. Именно сведения о структуре и минеральном составе красящих веществ, являющихся основой живописных материалов, способны помочь нам предсказывать поведение этих материалов в произведениях живописи.

СЕКРЕТЫ КРАСОК СТАРЫХ МАСТЕРОВ

В залах музеев нередко приходится слышать восторженные отзывы о красках древних мастеров. И действительно, использованные ими природные минеральные краски дали возможность произведениям живописи отдаленных эпох — эпохи Возрождения или XVII в. — сохраниться гораздо лучше живописи позднейшего вре-

¹ Георгиевский В. Г. Пигменты в полиграфии. М., 1952, с. 209.



Тонко измельченные цветные породы и минералы, обладающие красящей способностью, являются цветовой основой художественных красок.

мени, когда широко стали применять искусственные краски.

Следует отметить, что цветовым началом любой краски (масляной, темперной и т. д.) является пигмент — тонко размолотый порошок минерального, реже органического происхождения, или искусственно приготовленный химическим путем. В истории живописи справедливо пользуются репутацией самых надежных природные неорганические пигменты, именуемые «натуральными землями», или «земляными красками». Ими писали мастера прошлых веков, без них не обходятся и современные живописцы.

Сырьем для природных минеральных красок служат цветные глины, болотная железная руда, цветные туфы и сланцы и многие другие породы. Сюда же относятся азурит, малахит, лазурит, киноварь,

ярозит, волконскоит и прочие минералы, обладающие красящей способностью. Пигменты из этих пород и минералов получают путем их измельчения, обогащения (отделения посторонних примесей), а при необходимости и термической обработки.

Искусственные минеральные краски, такие, например, как искусственная киноварь или искусственная ярь-медянка, а также краски на основе соединений хрома, кобальта, кадмия и других элементов, получают химическим путем. Способы получения искусственных красок известны давно и постоянно совершенствуются. И все же в пигментах, создаваемых искусственно, пока не удается добиться теплоты и богатства тонов и полутонов, свойственных природным пигментам, естественности их окраски, а также устойчивости к действию света.

Ярким примером этому служит тот факт, что П. Пикассо, безусловно имевший возможность пользоваться искусственными красками лучших зарубежных фирм, охотно писал красками, изготовленными на

основе природных пигментов. В свое время французская газета «Леттр франсэз» писала, что «Пикассо применяет в своей работе специальную зелень, получаемую из очень редкого минерала — волконскоита, месторождения которого находятся только в СССР. По просьбе Пикассо, Советский Союз предоставил ему этот минерал в нужных количествах»². Художественная краска зеленого цвета «Волконскоит» вырабатывается из содержащего хром глинистого минерала волконскоита. Своим рождением эта краска обязана нашей стране, а Приуралье — единственное место на земном шаре, где встречаются и разрабатываются промышленные месторождения волконскоита. Живописцы высоко ценят волконскоитовую краску за ее лессирующие (просвечивающие) свойства, которых лишены искусственные краски зеленого цвета.

Современные живописцы охотно используют художественные краски на основе природных пигментов и требуют расширения их ассортимента. Если говорить о нашей стране, то еще в середине 30-х годов нашего столетия отмечалось, что производство красок для живописи — дело у нас совершенно новое. «До революции все русские художники писали заграничными красками. У нас были, правда, свои фабрики красок, но ни для кого не секрет, что фабрики эти только терли заграничные порошки на русском масле и изготавливаемые ими краски были во всех отношениях много хуже красок, получаемых из-за границы в готовом виде»³. Но уже в конце 50-х годов появились сообщения о достижениях Ленинградского завода художественных красок Министерства химической промышленности СССР. Отмечая успехи этого завода, художники, однако, сетовали, что очень важным недостатком палитры отечественных масляных красок является крайняя бедность в отношении природных минеральных, в том числе «земляных красок». «В ней (палитре.— В. Г.) совершенно отсутствуют очень ценные для живописи зеленые земли типа веронской, богемской и кипрской, обладающие превосходной звучностью различных оттенков зеленого цвета. Нет в ней и красок, подобных веронской коричневой, получаемой простым прокаливанием зеленой земли; крайне скудно

представлены охры, красные, коричневые и черные земли, месторождениями которых так богата наша страна»⁴. Восполнить этот пробел в палитре в начале 60-х годов было поручено Производственному комбинату Художественного фонда СССР в г. Подольске — базовому предприятию Союза художников СССР. А в конце 70-х годов в этих работах впервые принял участие геолог — автор данной статьи.

Изучение фондовых геологических материалов, опробование и обследование многих месторождений минеральных красок, знакомство с литературой по истории живописи, установление контактов с реставраторами — все это подсказало как пути восстановления красок старых мастеров, так и пути дальнейших поисков новых природных пигментов.

Но вернемся к «веронским» и «богемским» землям, умбре и прочим «земляным краскам», использовавшимся древними мастерами. Что скрывается под этими названиями?

Анализируя рентгеноструктурными методами пигменты старинной живописи, реставраторы доказали, что знаменитые «веронские» и «богемские» зеленые земли представляют собой главным образом глаукониты и глауконитовые глины, обладающие различными оттенками зеленого цвета. Однако у художников и технологов и по сей день сохраняется предвзятое мнение о плохой светостойкости глауконитовых пигментов. На наш взгляд, эти представления основаны на незнании некоторых минералогических особенностей глауконитов, а также на несовершенстве методов определения их светостойкости. Старая живопись, выполненная красками, приготовленными на основе «веронских» и «богемских» глауконитов, — лучшее доказательство светостойкости этих пигментов. Все это заставляет обратиться к залежам глауконитов и глауконитовых глин в Прибалтике, Закавказье, на Средней Волге и в других районах нашей страны, как к возможному источнику сырья для производства минеральных красок.

Удалось также показать, что прославленные «кипрские умбры» — краски темно-коричневого цвета с четким зеленым оттенком с о-ва Кипр — представляют собой алевритовые осадки вулканогенно-эксгалационного происхождения, богатые окислами железа, марганца и редкими ме-

² Цит. по: Ровесник, 1966, № 1, с. 13.

³ Гусев В. Н., Рерберг Ф. И., Тютюнник В. В. Живописные краски и их производство. М., 1936, с. 8.

⁴ Виннер А. В. Материалы и техника живописи советских мастеров. Очерки. М., 1958. с. 25.

таллами. Генезис этих осадков принято связывать с шаровыми лавами мелового периода⁵. Аналогичные осадки, широко представленные в разных регионах нашей страны, вероятно, тоже могут быть использованы для производства природных пигментов.

На этих примерах хорошо видно, как важно располагать минералогическими характеристиками исходного красочного сырья, зная условия его образования. Только обладая этими знаниями, можно выработать критерии поисков сырья, необходимого для производства отечественных красок. К сожалению, и по сей день многие краски в соответствии с традицией зашифровываются в нарицательные названия по месту добычи сырья. При этом не дается ни четких геолого-структурных привязок, ни полного минералогического описания красочного сырья.

ОСОБЕННОСТИ ПРИРОДНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ КРАСОК

В 1981 г. в Центральной лаборатории территориального геологического управления Центральных районов по инициативе автора статьи был проведен полный минералогический и химический анализ исходного сырья, используемого Подольским комбинатом для получения природных пигментов.

В ходе этих работ выяснилось, что результаты химических анализов природных минеральных красок сами по себе малоинформативны. Они важны, главным образом, при определении такого технологического показателя, как степень токсичности красочного сырья. Полную же характеристику минеральной краски можно получить, исследовав не только химический, но и минеральный состав пигмента, а также его структурное состояние. Все свойства пигмента и получаемой на его основе краски — цвет, кроющая и красящая способность, маслоспособность — тесно связаны с этими особенностями красящего вещества, а также со степенью его дисперсности.

К сожалению, до сих пор мы плохо себе представляем, какие факторы влияют на цвет природных пигментов и пигментов в смеси со связующими, т. е. самих красок. «Установлено лишь, что цвет природных пигментов зависит: 1) от различных соотношений между компонентами; 2) от харак-

тера твердой дисперсной среды и дисперсной фазы и их соотношений; 3) от механических примесей и продуктов адсорбции; 4) от валового химического состава»⁶. Соотношения же между всеми перечисленными факторами и их связь со свойствами пигментов и красок изучены еще очень слабо. Но и в этом отношении кое-что все-таки уже сделано. К примеру, установлено, что «окраска бурых железняков в зависимости от количества в них воды и степени их дисперсности изменяется от золотисто-желтой до темно-бурой (охры золотистые, охры светлые и охры темно-желтые)»⁷. Очевидно также, что кристаллическая структура пигмента способствует отражению света, а аморфная дает обратный эффект. Кроме того, выяснилось, что чем больше в пигменте содержится мелких частиц, тем выше его маслоспособность и кроющая способность. Хотя не все пигменты можно измельчать до предельно малых размеров. Например, синий кобальт, малахит и азурит теряют цвет (исчезает насыщение), если их измельчать очень сильно. К сожалению, до настоящего времени не известны исследования зависимости адгезионных свойств⁸ и прочности красочной пленки от размера частиц пигмента.

Знание особенностей минеральных пигментов необходимо не только художникам, но и технологам: лишь на этой основе могут быть созданы рациональные технологические схемы обработки и обогащения исходного сырья. Существует несколько схем получения природных пигментов. Например, красные пигменты из вулканических туфов Армении получают простым измельчением пород без дополнительных операций по отделению примесей. А пигмент для краски «Хотьковская коричневая» получают мокрым обогащением — отмучиванием песка, растительных остатков и других посторонних примесей. Сырьем для этой краски служат болотные образования или каштановые почвы верхнечетвертичного возраста с большим количеством бобовин бурого железняка, залегающие непосредственно под растительным слоем на поверхности террасы р. Вори близ с. Хотьково Московской области.

С минеральным составом природной минеральной краски, ее химическим соста-

⁶ Толстихина К. И. Природные пигменты Советского Союза. М., 1963, с. 157.

⁷ Там же, с. 137.

⁸ Адгезия — слипание поверхностей двух разнородных твердых или жидких тел.

⁵ Robertson A. H. F. — J. Geol. Soc., 1975, v. 131, № 5, p. 511.

вом и структурно-минералогическим состоянием связана и такая важная ее характеристика, как цвет. Это хорошо видно на примере армянских туфов: фиолетовых вулканических туфов Гутанкарского месторождения и красных туфов Шахназарского месторождения. При одинаковом содержании окислов железа в фиолетовых туфах отмечено резко повышенное содержание глинозема ($15,8\% \text{ Al}_2\text{O}_3$) по сравнению с красными туфами ($1,9\% \text{ Al}_2\text{O}_3$). Вполне возможна связь фиолетовых тонов гутанкарских туфов, из которых получают пигмент для художественной краски «Гутанкарская фиолетовая», с повышенным содержанием глинозема и структурным воплощением этого окисла в породе.

Любопытно, что масляную краску такого же цвета получают тонким измельчением некоторых аргиллитов и алевроитов фиолетовой окраски из докембрийских образований Карелии. Галька и валуны таких пород встречаются в окрестностях Ферапонтова монастыря, а пигмент из этих пород отмечен во фресковых росписях Дионисия⁹.

Специфический фиолетовый оттенок масляной краски «Феодосийская коричневая» принято связывать с окислами марганца ($7,7\text{—}9,2\% \text{ MnO}$), присутствующими в пигменте, изготовленном из мanganосидеритов. Известно, что из щебенки мanganосидеритов Феодосийского месторождения готовил краски И. К. Айвазовский. Конкреции и щебенка окисленных мanganосидеритов встречаются в Крыму в виде россыпей в зоне выветривания коренных глинистых сланцев верхнеюрского и нижнемелового возраста. Окислы и, возможно, гидроокислы железа являются основными компонентами, входящими в состав красящего вещества этих пород. Содержание Fe_2O_3 меняется от $11,5$ до $54,2\%$, а содержание Al_2O_3 не превышает $3\text{—}4\%$.

Интересно отметить, что краску такого же коричневого цвета с тем же фиолетовым оттенком можно получить совсем из других пород. Пигмент для этой краски можно добыть из глин и аргиллитов алексинского горизонта нижнего карбона близ г. Алексина Тульской области. Эти породы темно-фиолетовой окраски с коричневатым оттенком дают пигмент, не уступающий по цветовым характеристикам знаменитой «Феодосийской коричневой». А по технологическим показателям он даже пре-

восходит пигменты, получаемые из мanganосидеритов. Художники отмечают высокие пластические свойства краски, изготовленной на основе алексинских глин. Обращает на себя внимание тот факт, что содержание MnO в алексинских глинах не превышает сотых долей процента, а содержание Al_2O_3 заметно выше, чем в мanganосидеритах.

Таким образом, намечается некоторая связь между содержанием окислов марганца или окислов алюминия и фиолетовыми тонами в цвете пигментов и красок, изготавливаемых на их основе. Однако высокие содержания этих окислов далеко не всегда сопровождаются фиолетовыми оттенками. Так, на основе пигмента из темно-коричневых глин и глинистых аргиллитов, предположительно карбонového возраста, которые залегают в кровле Кураковского месторождения известняков в Тульской области, выпущена краска «Тульская коричневая прозрачная». Состав этих глин и аргиллитов характеризуется присутствием гидрослюда, каолинита и монтмориллонита. При повышенном содержании Al_2O_3 ($22,1\%$) концентрация окислов марганца в этих породах не превышает сотых долей процента. Фиолетового оттенка в цвете краски не отмечено, но у нее имеется очень ценное художниками лессировочное свойство, что, возможно, объясняется сложным минеральным составом красящего вещества.

С особенностями химического и минералогического состава связаны и различные оттенки желтой минеральной краски — охры. В отличие от «Охры светлой» и «Охры золотистой», которые производятся на основе хорошо известных художникам журавских охр (месторождения их находятся в Воронежской области), «Тульская охра» характеризуется более темным тоном и четко выраженным зеленоватым оттенком. Очевидно, различия вызваны не только разным содержанием Fe_2O_3 ($8,9\%$ в тульской и $21,1\%$ в журавской охре), но и разным минеральным составом. Тульская охра, получаемая из глин стешевского горизонта нижнего карбона, имеет преимущественно гидрослюдистый состав, а журавская — каолинит-монтмориллонитовый.

Сырьем для получения краски «Серпуховская красная» служат среднекарбонные красные глины верейского или каширского горизонтов, которые выходят на поверхность в ряде мест на территории Серпуховского района Московской области. Окраска этих глин хлорит-каолинит-гидрослюдистого состава объясняется при-

⁹ Голубов В. Н., Галдобина Л. П. Краски Дионисия и древний ледник. — Природа, 1984, № 1, с. 51.

существованием бурых гидроокислов железа (до 7,9 %).

Пигменты более яркого красного цвета могут быть получены из красных вулканических пепловых туфов. Такие туфы верхнеэоценового возраста, имеющиеся в Шахназарском месторождении Армении, служат сырьем для производства художественной краски «Шахназарская красная». Состоят эти туфы главным образом из мелких обломков вулканического стекла, а также глинистых и гематитовых частиц. Красящей основой шахназарских туфов принято считать частицы гематита, с которыми связано повышенное содержание железа (в среднем около 12 %). Красные армянские туфы, известные под названием армянский болюс, или болюс красный, являются одной из самых древних красок: их стали применять еще в I в., а в IV—X вв. они получили широкое распространение.

Следует отметить, что цвет и прозрачность высохшей краски зависят от разницы в показателях преломления частиц пигмента и связующего вещества. Этим можно объяснить совпадение цвета высохшей фресковой краски, приготовленной на водной основе, с цветом исходного тонко размолотого пигмента. Самые сложные соотношения между показателями преломления пигмента и связующего вещества возникают в масляных красках. При этом важно, что показатель преломления полимерной масляной пленки постепенно возрастает по мере ее высыхания.

Таким образом, одно и то же красящее вещество в сочетании с различными связующими может дать разное цветовое ощущение. Например, мел (CaCO_3) в растворе клея, нанесенный на дерево или холст, обладает хорошей кроющей способностью и выглядит ярко, а мел в льняном масле образует довольно прозрачное сероватое покрытие. В лабораторных условиях мы не раз убеждались, что новый природный пигмент дает совсем разные оттенки цвета в сочетании с разными связующими.

Учитывая оптические особенности масляных красок, автор статьи предложил вулканические туфы типа трассов в качестве сырья для получения пигментов. При тонком размоле этих туфов образуется порошок светло-серого цвета с едва уловимым зеленоватым оттенком. Для фресковых и темперных красок пигменты из этих пород не представляют интереса из-за своей низкой цветовой насыщенности. Но в смеси с маслом они дают краски

сочных тонов с разными оттенками зеленого цвета. Экспериментальные партии красок «Севанская зеленая» и «Грузинская умбра», выпущенные Подольским комбинатом на основе туфов типа трассов, получили положительные отзывы художников. Краски рекомендованы к массовому выпуску.

Интересный цветовой эффект дает пирофиллитовый пигмент в сочетании с различными связующими. В смеси с маслом пирофиллитовый пигмент дал краску розовато-телесного цвета, вызвавшую восторг живописцев, работающих с обнаженной натурой. Бледнорозовые фресковые и темперные краски получены в лаборатории Подольского комбината на основе розовых пирофиллитовых сланцев, залегающих на Украине среди овражеских кварцитов протерозойского возраста.

В чисто практических поисковых целях наряду с минералогическими и химическими лабораторными исследованиями необходимы и полевые работы, позволяющие установить положение горизонтов минеральных красок в геологическом разрезе. К примеру, в результате стратиграфических исследований выяснилось, что черные глины, которые служат для производства художественной краски «Звенигородская черная», имеют юрский возраст и обнажаются в обрывах р. Москвы у Звенигорода, а серые глины, из которых готовится «Подольская черная», имеют среднекарбонный возраст и обнажаются в кровле заброшенного известнякового карьера в Подольске. Эти глины преимущественно монтмориллонитового состава отличаются друг от друга разным содержанием каолинита и гидрослюда: в звенигородской больше каолинита, а в подольской преобладает гидрослюда. Глинистые минералы и в серой, и в черной глинах пропитаны гумусом, причем в звенигородской глине его содержится больше, что фиксируется более темной окраской исходного сырья. В масляных красках пигменты из этих глин дают теплые черные тона с едва различимыми оттенками, трудно улавливаемыми неподготовленным глазом, но очень ценными художниками. «Звенигородская черная земля» — одна из древнейших русских красок, широко применявшихся во фресковой и темперной живописи в XI—XVIII вв.

Из приведенных выше примеров читателю, по-видимому, ясно, сколь велико разнообразие горных пород и минералов, используемых в производстве художественных красок. При желании, и прежде

всего при наличии запросов со стороны самих живописцев, палитра отечественных красок, изготавливаемых на основе природных пигментов, безусловно, может быть расширена. Однако существуют сомнения в необходимости расширения ассортимента художественных красок.

НУЖНО ЛИ РАСШИРЯТЬ АССОРТИМЕНТ КРАСОК?

Немногие противники расширения палитры красок могут привести в качестве примера живописцев древности, которые работали лишь четырьмя красками: белой, желтой, красной и черной. И это не мешало некоторым их произведениям стоять, по свидетельству Плиния Старшего, богатства целого города.

Тем не менее художественная палитра живописцев непрерывно менялась и обогащалась новыми пигментами. Выдающийся художник начала XVII в. П. П. Рубенс использовал при создании картин около 15 пигментов. Более поздние художники имели в своих палитрах не менее 40 или даже 50 пигментов¹⁰. Это были пигменты как природного, так и искусственного происхождения.

Красочные палитры отдельных мастеров советской живописи отличаются не только по количеству, но и по видам входящих в них красок. Палитра современных живописцев насчитывает обычно 20—30 красок, и только у некоторых из них в палитре содержится до 40 красок. Но в настоящее время художники значительно шире, чем в древности, пользуются искусственными красками. Следовательно, особенно острым становится вопрос о допустимости смешения пигментов друг с другом. Ведь, чем больше искусственных пигментов использует художник, тем сложнее сохранить первоначальный оттенок полученной смеси. В этом отношении бесспорно преимущество природных неорганических пигментов, так как сохранность первоначальных оттенков красок, изготовленных на их основе, практически не зависит от характера их смешения.

В отличие от древних мастеров, самостоятельно создававших и расширяющих свою палитру, современный художник чаще всего пассивно ожидает, что ему предложит красочная индустрия. При этом, безусловно, стирается само поня-

тие «секреты красок». Но в то же время происходит полное отстранение художника от технологии создания красок и вызванное этим слабое знание физико-химических свойств красок, что часто становится причиной быстрого старения произведений живописи.

Мы не беремся утверждать, что живопись, созданная в прошлые века, была технологически безупречна. Хорошо известно, например, что в одном из экспериментов Леонардо да Винчи с его картиной «Тайная вечеря» существенные дефекты проявлялись на протяжении всей жизни художника¹¹. Существуют данные, что некоторые краски, применявшиеся Рембрандтом, Х. Риберой и другими художниками, потемнели. «На картине Рембрандта «Портрет старика в черном берете» (Дрезденская галерея) очертания берета и контуры одежды почти слились с фоном. На картине Риберы «Св. Франциск» (там же) волосы и плащ почти неотличимы от фона. Таких примеров можно привести множество»¹².

В настоящее время, когда художественные краски становятся объектом внимания самых разных специалистов — физиков, химиков, геологов — совершенно недостаточно работать на уровне старых мастеров и технологов живописи по принципу «ждать и смотреть». Для дальнейшего совершенствования производства и расширения ассортимента художественных красок, выпускаемых на основе природных пигментов, весьма актуальны работы по изучению их минеральных и структурных особенностей. Они важны для решения таких технологических вопросов, как характер взаимодействия пигментов с разными связующими, поведение пигментов в составе красок и влияние состава пигментов на сохранность произведений живописи. Все эти исследования необходимо проводить непосредственно в производственных условиях, в тесном контакте с научными лабораториями страны и при активной поддержке со стороны художников. Живописцы современности должны и могут использовать в своем творчестве краски самого высокого качества и широкого ассортимента.

¹¹ Там же, с. 86.

¹² Лукьянов П. М. История химических промыслов и химической промышленности России. Т. IV. М., 1955, с. 86.

¹⁰ Брилл Т. Свет. Воздействие на произведения искусства. М., 1983.



КРАСНАЯ КНИГА

Уссурийский когтистый тритон

С. С. Козик

Псков

А. Г. Трубер

Москва

Уссурийский когтистый, или безлегочный, тритон (*Opodactylus fischeri*) известен зоологам почти столетие, но и до сих пор он настолько мало изучен, что считается, наравне с немногими животными, самым загадочным земноводным. Вместе с тремя другими видами — сибирским и туркестанским углозубами (*Hynobius keyserlingi*, *H. turkestanicus*) и семиреченским лягушкозубом (*Ropodon sibiricus*) безлегочный тритон входит в состав семейства углозубых (*Hynobiidae*) — наиболее примитивных хвостатых амфибий.

Ареал безлегочного тритона охватывает Восточную Маньчжурию, Корейский п-ов и юг Приморского края СССР. Поскольку нигде больше, кроме Приморья, этот тритон не встречается на территории нашей страны, вид как узкоэндемичный и редкий внесен в «Красную книгу СССР».

Участки, где можно встретить безлегочного тритона на Дальнем Востоке, — это русла горных ручьев с обрывистыми скалистыми берегами, покрытыми пузырящимися от апитанной воды ковром мхов и густой растительностью. Коряги, поваленные деревья, камни в таких ручьях служат тритону естественным убежищем. Встретить тритонов, идя по тайге, очень непросто: там, где общий фон земной поверхности темный, и тритоны окрашены в темно-коричневый цвет, по которому затейливо тянется золотистый рисунок; на более светлых участках попадаются тритоны с общим золотистым фоном и разбросанными по нему небольшими черными пятнами. Брюшко у всех безлегочных тритонов слегка розоватое с едва замет-

ными темными крапинами. С боков тела имеются 14—15 поперечных бороздок; на боковой стороне шеи отчетливо видны постоянно пульсирующие заглазничные валики, из-за движения которых создается впечатление, что животное ими дышит, на самом же деле роль этих валиков чисто секреторная.

При общей длине тела до 210 мм туловище тритона заметно короче мощного мускулистого немного сплюсненного (на конце) с боков хвоста. У некоторых тритонов на кончике хвоста есть вырост, назначение которого неизвестно. Передние конечности четырехпалые, на задних — пять пальцев, причем у самок обе пары конечностей одинаковы по длине, у самцов же задние лапы почти в полтора раза длиннее передних и снабжены когтистыми пальцами и кожистыми оторочками; у самок на кончиках пальцев вместо когтей — мозолистые подушечки.

У взрослых когтистых тритонов нет ни жабер, ни легких, дышат они через слизистую оболочку рта и через кожные покровы, поэтому и живут лишь в сильно увлажненных и затененных местах с довольно стабильными температурой воздуха и воды, влажностью. Несмотря на бытующее мнение, что на участках, где живут тритоны, обычные мощные галечниковые слои (более метра толщиной), мы встречали этих земноводных буквально на голых скалах и там, где слой гальки, листьев или дерна составлял от нескольких сантиметров до полуметра.

Плотность населения безлегочного тритона в Лазовском районе, где мы вели наблюдения, была различной: на расстоянии метра от русла ручья, на площади в 134 м² мы обнаружили 30 особей (это были самцы и самки) различного возраста; в среднем же она колебалась от 0,2 до 0,5 особей на квадратном метре поверхности. В поисках икры и молодых личинок мы раскопали небольшую

площадку, но нашли только взрослых животных.

О сезонной активности безлегочных тритонов известно мало, даже нет полной уверенности, что они впадают в спячку. На поверхности земли их можно встретить с апреля по октябрь, и даже в небольшие заморозки, когда вода в ключах не успевает еще замерзнуть, тритоны продолжают питаться и двигаться в воде. Некоторые исследователи замечали, что в июне — июле взрослые тритоны внезапно исчезают, но найти объяснение этому не смогли. Мы такой закономерности не обнаружили, но однажды в тухляком дереве, стоящем в 10 м от воды, нашли малоподвижную самку.

Мы работали на Дальнем Востоке только в летнее время и не имели возможности исследовать сезонную активность тритонов, зато тщательно проверили, как они ведут себя в течение суток. В специально установленных для этой цели ловушки и личинки и взрослые тритоны попадали только ночью; кроме того, в сумерках и ночью при свете фонаря мы неоднократно встречали тритонов в охотничьих позах, причем личинки начинали вести активную жизнь гораздо раньше взрослых — еще при ярком вечернем солнце. Взрослые тритоны начинали охотиться обычно в сумерках, переходя по берегу от одного камня к другому или двигаясь в воде. Днем взрослые тритоны прятались под камнями или корягами, в гнилых листьях, не удаляясь далеко от берега. Так же вели они себя и в аквариумном — сооружении, объединяющем одновременно и аквариум и террариум, в котором достаточно полно были имитированы естественные условия обитания тритонов. Здесь они тоже предпочитали «береговую кромку» и лишь изредка уходили в воду (только в самое первое время, когда тритоны обжились в аквариум, они чаще находились в воде, чем на суше).



Безлегочный тритон — самая загадочная амфибия Дальнего Востока.

В поведении тритонов в акватеррариуме проявилась некоторая периодичность: после 30—35 дней активности наступала недельная пауза, во время которой они почти не появлялись на поверхности грунта. Осенью в акватеррариуме тритоны все дольше стали оставаться на «берегу», а в октябре, когда температуру в их жилище мы снизили до 5—6 °C (как это бывает в природе), они ушли из воды совсем и, видимо, спрятались в тухляком пне или перегнивающих листьях.

Пытаясь изучить поведение тритонов в природе, мы метили их, нанося на кожу краситель, и вели наблюдения за их передвижениями. Выяснить удалось немного: их некоторую приверженность к небольшой территории (площадью 5—6 м²) в течение 2—3 суток. Может быть, там их удерживало обилие пищи?

Безлегочные тритоны — весьма миролюбивые существа. В природе (впрочем, и в неволе тоже) под одним камнем мы неоднократно находили по несколько особей разного пола и возраста. Нам никогда не приходилось видеть ссор между тритонами и в акватеррариуме, хотя они все же избегали близких контактов друг с другом.

Охотятся тритоны обычно из засады: спрятавшись в какой-нибудь щели между камнями, они высовывают поднятую на круто изогнутой шее голову, а заметив добычу, поднимают ее еще выше; и без того достаточно выпуклые глаза, выпячиваются еще больше. Быстро войдя из укрытия, тритон почти упирается мордой в жертву (создается впечатление, что он обнюхивает ее) и только потом в резком броске хватает добычу, треплет ее и, пятясь, скрывается в укрытии, где и заглатывает добычу. Иногда тритону приходится выдерживать настоящую борьбу. Мы с интересом наблюдали за такой сценой: в течение часа тритон пытался вытянуть из земли дождевого червя, едва высунувшегося из норки. Обычно настойчивости

в преследовании жертвы тритоны не проявляют, и если не удастся поймать ее сразу, они теряют к ней всякий интерес и жертва скрывается.

Охоту мелких личинок нам не удалось увидеть, поскольку они живут в камнях очень скрытно. Более взрослые личинки (до 80 мм длиной), у которых еще сохранилась хвостовая лопасть, охотятся на рачков, кормящихся на камнях, листьях и корягах, устилающих дно ручья. Личинки охотничьими приемами напоминают обыкновенных тритонов: то же осторожное подкрадывание и быстрый завершающий бросок. Мы очень рассчитывали, что сможем увидеть сцену охоты личинок в акватеррариуме, но и здесь их жизнь протекала столь скрытно, что увидеть их нам удалось всего несколько раз за лето, и то в течение короткого времени. Когда же личинки вышли на «берег» акватеррариума и приобрели вид взрослых тритонов, то довольно часто занимали сторожевые позиции в зарослях папоротников и безуспешно пытались схватить мелких дождевых червей.

Судя по данным Ю. М. Короткова, который исследовал рацион питания тритонов по остаткам непереваренной пищи в их желудках, они едят киясков и костянок (40,4 %), жуков (31,9 %), двукрылых (23,4 %), чешуекрылых (14,9 %), личинок ручейников (17 %), паукообразных (12,7 %), улиток (12,7 %), бокоплавов (27,7 %), клопов (2,1 %), перепончатокрылых (4,3 %), дождевых червей (4,3 %). Мы же ничего подобного не наблюдали. Те взрослые тритоны, что жили в акватеррариуме, питались только дождевыми червями, несмотря на разнообразие предлагаемого им корма. Лишь однажды тритон схватил кияска, но, даже не пытаясь его проглотить, выплюнул. Охотились тритоны всегда «на берегу», хотя мы и провоцировали подводную охоту.

Размножение безлегочных тритонов по-прежнему остается загадочным. До сих пор неизвестны ни время, ни место размножения. Установлено лишь, что в личинках самок развивается от 9 до 23 яиц, но время, когда они откладывают яйца,

неизвестно. Возможно, оно не приурочено к строго определенному периоду, а растянуто на несколько месяцев. В пользу этого предположения говорит тот факт, что мелкие личинки появляются в водоемах все лето. Самые молодые личинки, которых нам удалось поймать, достигали в длину около 30 мм, а как проходит их предыдущее развитие, — загадка, которую предстоит разгадать. Остается допустить (по аналогии с ближайшими родственниками по семейству углозубых), что самка откладывает по 15—20 икринок в слизистых мешочках и что развитие личинок длится не менее 2—3 лет.

У беззащитных легочных тритонов есть враги, которые охотятся на них регулярно. Это щитомордники, форель, в большом количестве встречающаяся в горных ручьях и питающаяся не только взрослыми тритонами, но и их личинками. Несомненно, главный враг безлегочного тритона — бурая оляпка. Мы не раз видели охоту этой птицы на тритонов. Слетев с камня, торчащего где-нибудь посередине ручья, она опускается на мелководье в одном-двух метрах от берега, бьет крыльями по воде, продолжая двигаться к берегу. Вспугнутые звуком, личинки стараются скрыться, лихорадочно снуют между камней, тут-то их и настигает оляпка. И, как это ни прискорбно, но большой вред популяции тритонов наносит человек, собирая их для коллекций (вопреки запрету) или для изучения. Вряд ли можно оправдать многочисленные вскрытия тритонов (до 127 особей) только для того, чтобы установить рацион питания, точно так же и способ метки — отрезание лапки, который иногда еще используется.

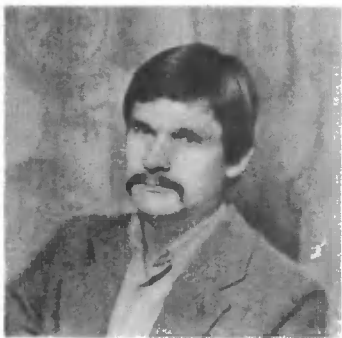
Пока, к счастью, нет других более серьезных причин беспокоиться за сохранность уссурийского когтистого тритона. Места его обитания не затронуты хозяйственной деятельностью. Но чтобы изучить биологию вида, не нанося ему ущерба, нужны другие методы полевых исследований, необходимо также наладить содержание и размножение этих редких амфибий в неволе.

Вирусы без нуклеиновой кислоты!

Е. В. Кунин, К. М. Чумаков



Евгений Викторович Кунин, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник Института полиомиелита и вирусных энцефалитов АМН СССР. Занимается молекулярной биологией вирусов, геной инженерией.



Константин Михайлович Чумаков, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник Межфакультетской лаборатории молекулярной биологии и биоорганической химии имени А. Н. Белозерского Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Область научных интересов — молекулярная биология вирусов, биосинтез белка, молекулярная эволюция. Лауреат премии Ленинского комсомола.

В этой статье речь пойдет о возбудителях необычной группы заболеваний центральной нервной системы — подострых спонгиозных трансмиссивных энцефалопатий (ПСТЭ). Хотя эти болезни и не входят в число важнейших медицинских и ветеринарных проблем (главным образом потому, что встречаются сравнительно редко), их изучение уже почти 40 лет составляет одну из фундаментальных задач вирусологии, а природа их возбудителей — одну из самых интригующих загадок этой науки. Время от времени не только в научную, но и в широкую печать попадают сенсационные сообщения о возбудителях ПСТЭ, грозящие опровергнуть важнейший постулат современной биологии об уникальности

нуклеиновых кислот как носителей генетической информации и как бы возрождающие на новом этапе развития биологии выдвинутые еще в 30-х годах и, казалось бы, давно и окончательно отвергнутые представления о наследственной функции белков. В чем же суть проблемы, чем отличаются эти возбудители от других, обычных вирусов?

Согласно современным представлениям, вирусы — это автономно воспроизводящиеся (реплицирующиеся) генетические системы, которые продуцируют информационную, или матричную, РНК (мРНК), но лишены собственной системы трансляции (синтеза белков) и поэтому используют трансляционный аппарат клетки-хозяина. В результате такого взаимо-

действия образуются все вирусные белки, в том числе так называемые структурные белки, в которые «одевается» носитель генетической информации — нуклеиновая кислота вируса, без чего она не может переходить из одной клетки в другую.

Длительное изучение возбудителей ПСТЭ показало, что они почти по всем этим признакам так или иначе отличаются от классических вирусов, что и отразилось в другом их названии — «неканонические вирусы». Результаты последних лет заставляют вполне серьезно обсуждать возможность полного отсутствия нуклеиновых кислот у этих агентов. А поскольку возбудители ПСТЭ обладают такими важными признаками любого живого организма, как наследственность и изменчивость, необходимо понять, как соотносится эта возможность с основными принципами биологии.

ЗАГАДОЧНЫЕ БОЛЕЗНИ

К группе ПСТЭ относятся скрэпи — заболевание овец и коз, трансмиссивная энцефалопатия домашних норок и две болезни человека: куру — эндемическое заболевание жителей горных районов Новой Гвинеи — и болезнь Крейтцфельда — Якоба.

Наиболее распространенное из этих заболеваний — скрэпи — было впервые описано в Англии еще в XVIII в. Им болеют обычно овцы старше 4—4,5 лет. У больных животных сначала появляется расстройство координации движений и кожный зуд, заставляющий их непрерывно почесываться (отсюда и название: англ. to scarp — скрести). Затем наступают параличи, неизбежно заканчивающиеся через несколько месяцев гибелью животных.

В 1947 г. в США на звероводческой ферме впервые была обнаружена трансмиссивная энцефалопатия норок. Болезнь проявилась после скормливания норкам субпродуктов, полученных от овец, больных скрэпи. В конце 40-х — начале 50-х годов вспышки энцефалопатии норок наблюдались на некоторых фермах в Канаде, Финляндии и ГДР. Однако, после того как был выявлен источник заражения и приняты соответствующие меры, заболевания прекратились. Таким образом, по-видимому, возбудителя энцефалопатии норок можно рассматривать как субпопуляцию возбудителя скрэпи.

В отдельных деревнях папуасов племени форэ, населяющего горные районы Новой Гвинеи, около 10 % людей болели неизвестной болезнью, названной куру

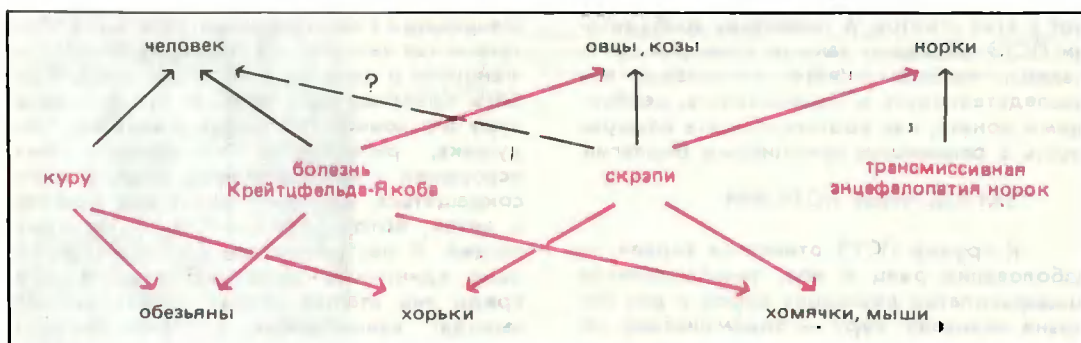
(на языке племени форэ это слово означает «дрожать»). По симптомам это заболевание очень напоминало болезнь овец скрэпи: те же нарушения координации движений и параличи; кроме того, отмечалось слабоумие. К. Гайдушеку, впервые описавшему в 1957 г. куру, и его сотрудникам удалось выяснить путь передачи заболевания. Среди жителей этих районов был распространен обычай ритуального каннибализма: в знак уважения к умершему родственнику члены клана съедали некоторые его внутренние органы и натерли себе кожу его мозгом и печенью. Основными участниками ритуала были обитатели так называемых «женских хижин» — женщины и дети до 6 лет, чем и объяснялось преобладание женщин среди жертв куру. В основном благодаря усилиям К. Гайдушека, ритуальный каннибализм был искоренен и заболеваемость стала быстро сокращаться, причем сначала она исчезла у детей, потом у подростков и молодых людей. В настоящее время наблюдаются лишь единичные случаи заболевания куру среди лиц старше 30 лет. Очевидны два вывода: каннибализм — единственный путь распространения инфекции, инкубационный период заболевания может составлять до 30 лет.

И, наконец, так называемая болезнь Крейтцфельда — Якоба. Она распространена по всему земному шару, но встречается достаточно редко — несколько случаев на миллион населения. Примерно 20 % заболеваемости составляет семейная форма; известны семьи, в которых было 12 больных в 5 поколениях. Обычно болезнь проявляется на 40—50-м году жизни и сопровождается опять же нарушениями координации движений, расстройством органов чувств и слабоумием. На поздних стадиях наступают параличи, которые через несколько месяцев (реже лет) приводят к гибели. Путь распространения этой болезни точно неизвестен.

Все заболевания группы ПСТЭ имеют не только сходную симптоматику, но и похожую патоморфологическую картину: дегенерацию мозговых нейронов, разрастание глиальных клеток и накопление так называемого мозгового амилоида. Образование аналогичных фибрилл при болезни Альцгеймера (старческом слабоумии) позволяет провести параллель между этим широко распространенным заболеванием (по некоторым оценкам, им болеет до 10 % лиц старше 65 лет) и ПСТЭ. Распространенность болезни Альцгеймера, естественно, повышает интерес к этой группе болезней.

Обращает на себя внимание длительный инкубационный период ПСТЭ, относительно медленное подострое течение болезни, отсутствие воспалений и абсолютная смертность. Доказательство трансмиссивной природы этой группы расширило наши представления о типах патологии, вызываемых инфекционными агентами. Все известные до этого случая инфекции сводились либо к более или менее острым воспалительным процессам, либо к злокачественному перерождению клеток. Именно за доказательство инфекционной при-

больных скрэпи овец (например, известна необычайно высокая частота заболеваний среди живущих в Израиле ливийских евреев, которые употребляют в пищу мозг и глаза овец); с другой стороны, существование семейных случаев этого заболевания. Известна также корреляция между риском заболевания и предшествующей операцией на мозге. Болезнь Крейтцфельда — Якоба встречается и среди самих нейрохирургов. Зная устойчивость возбудителя болезни к дезинфектантам, К. Гайдушек с сотрудниками разработал новые



Взаимосвязь между разными формами ПСТЭ и путями распространения в природе (черные стрелки) и при экспериментальном заражении (цветные стрелки).

роды некоторых дегенеративных заболеваний человека (куру и болезни Крейтцфельда — Якоба) К. Гайдушек в 1976 г. был удостоен Нобелевской премии в области медицины¹.

Уже на ранних этапах исследований было установлено, что скрэпи передается фильтрующимся агентом, т. е. частицами, проходящими через бактериальные фильтры (этим свойством обладают почти все вирусы, нередко называемые за это фильтрующимися). Инфекционная природа куру была доказана эпидемиологическими наблюдениями К. Гайдушека с сотрудниками, а также заражением экспериментальных животных. Пути распространения болезни Крейтцфельда — Якоба изучены хуже. Однако и в этом случае трансмиссивная природа заболевания не вызывает сомнений: с одной стороны, есть некоторые указания на возможность заражения людей от

правила стерилизации нейрохирургических инструментов, предохраняющие от ятрогенного (возникающего от врачебного вмешательства) заражения².

Как проник в популяцию папуасов Новой Гвинеи возбудитель куру, остается неясным. Можно лишь предположить, что в условиях уникальной эпидемиологической ситуации (каннибализма) спорадический случай болезни Крейтцфельда — Якоба мог стать причиной вспышки заболевания.

Особого внимания заслуживают работы по экспериментальному заражению животных ПСТЭ. В 1965 г. К. Гайдушек с сотрудниками, заразив шимпанзе суспензией мозга погибшего от куру человека, наблюдал у них схожие симптомы. Тем же способом было вызвано заболевание у низших обезьян, норок, хорьков. Козы, зараженные суспензией мозга людей, страдавших болезнью Крейтцфельда — Якоба, имели все симптомы скрэпи. Скрэпи удалось передать не только норкам, но морским свинкам, мышам и хомячкам. И во всех случаях инфекционный агент проходил через фильтры, задерживающие самые мелкие бактерии.

¹ Gajdusek D. C.— In: Les Prix Nobel en 1976. Stockholm, 1976, p. 167; Idem — Science, 1977, v. 197, p. 943; Cuille J., Chelle P.-L.— Compt. rend. Acad. sci. Paris, ser. D, 1938, v. 206, p. 1687.

² Gajdusek D. C. et al.— New England J. Med., 1977, v. 297, p. 1253.

Все эти факты позволили высказать два принципиальных предположения: во-первых, ПСТЭ вызываются некими вирусами, и, во-вторых, все эти агенты близкородственны, возможно это разные штаммы одного и того же вируса.

ВИРУСЫ ЛИ ЭТО?

Однако по мере изучения «вирусы» скрэпи вызывали у исследователей все возрастающее недоумение. Дело в том, что вирусного в них было очень мало. Кроме двух вирусных свойств — уже упомянутой способности агента проходить через бактериальные фильтры и мутаций, приводящих к возникновению новых штаммов (что указывает на существование у возбудителя собственного генотипа), все остальные свойства агента были в высшей степени необычными.

Во-первых, в пораженных тканях ни в оптическом, ни в электронном микроскопе никогда не удавалось наблюдать каких-либо структур, похожих на частицы искомого вируса. Во-вторых, все попытки получить у животных антитела против возбудителя окончились неудачей. В-третьих, агент не мог размножаться ни на одной из многочисленных испытанных культур клеток. Но самой поразительной оказалась исключительная устойчивость этого возбудителя к разнообразным воздействиям, эффективно подавляющим инфекционность бактерий и вирусов: нагреванию, обработке формальдегидом, ультрафиолетовому облучению, ионизирующей радиации. Расчеты размера мишени показали, что такой «вирус» не может содержать нуклеиновую кислоту с молекулярной массой более 100 000 дальтон³.

По представлениям тех лет, когда были сделаны эти работы, такой размер был совершенно недостаточен для кодирования генетической информации вируса. Напомним, что самые мелкие вирусы содержат ДНК или РНК с молекулярной массой около 1 млн дальтон. Инактивация агента скрэпи ионизирующей радиацией и ультрафиолетом отличалась от инактивации вирусов не только количественно, но и качественно: его чувствительность к ионизирующей радиации резко повышалась в присутствии кислорода, в то время как обычные вирусы таким свойством не обладают. Выраженный «кислородный эф-



К. Гайдушак с подопытной обезьяной.

фект» характерен для инактивации белковых или липидных систем; для инактивации нуклеиновых кислот присутствие кислорода несущественно. Исследование спектра действия инактивирующего ультрафиолета показало, что для агента скрэпи наиболее эффективен ультрафиолет с длиной волны 235 нм, а не 254—260 нм, как для подавляющего большинства бактерий и вирусов (напомним, что длины волн 254—260 нм соответствуют максимуму поглощения нуклеиновых кислот). Результаты этих экспериментов заронили первые серьезные сомнения в том, что инфекционность агента скрэпи связана с нуклеиновой кислотой.

Все эти данные были получены на неочищенных экстрактах мозга животных, пораженных скрэпи. Для решения вопроса о природе возбудителя скрэпи была, конечно, необходима его очистка. Первые попытки в этом направлении дали обескураживающие результаты. Пожалуй, прежде всего это было обусловлено исключительной трудностью тестирования инфекционности (титрования) этого агента. Поскольку титрование на культурах клеток, применяемое для исследования обычных вирусов, в данном случае невозможно, единствен-

³ Alper T. et al.— *Biophys. Res. Commun.*, 1966, v. 22, p. 278; *idem.*— *J. Gen. Virol.*, 1978, v. 41, p. 503.

ный путь определения инфекционности скрэпи — заражение чувствительных животных. Сначала в распоряжении экспериментаторов были только овцы и козы. Но при этом каждый опыт занимал около двух лет и требовал десятков животных. При такой ситуации очистка агента скрэпи, в ходе которой, естественно, нужно было проверить большое число образцов, была по существу невозможна. Эта задача стала более или менее реальной, когда в качестве чувствительных животных стали использовать мышей, хотя и теперь каждое титрование занимало около года. Однако на этой стадии исследований встретились уже довольно серьезные биохимические трудности.

Оказалось, что инфекционный агент весьма прочно связан с клеточными мембранами и не отделяется от них стандартными методами (обработка детергентами в обычных концентрациях). Исходя из этого, была предложена так называемая мембранная гипотеза, основанная на совершенно еретическом постулате: агент скрэпи не содержит нуклеиновой кислоты, а представляет собой самореплицирующий фрагмент мембраны¹. Однако в силу, мягко говоря, неортодоксального характера этой гипотезы и отсутствия детальной биохимической характеристики агента мембранная гипотеза не была воспринята сколько-нибудь серьезно. Исследователи склонны были считать, что агент скрэпи все же содержит нуклеиновую кислоту, но она либо имеет некую необычную структуру, либо каким-то образом защищена от инактивирующих воздействий. Это убеждение и нашло отражение в несколько неопределенном термине «неканонические вирусы», получившем довольно широкое распространение (его, кстати, впервые применил для обозначения агентов ПСТЭ К. Гайдушек).

Этот разумный скептицизм получил, казалось, неожиданную поддержку, когда в 1971 г. Т. Динер открыл вирионы — удивительные агенты, вызывающие ряд болезней растений². Эти сравнительно мелкие РНК с молекулярной массой как раз около 100 000 дальтон, лишенные какой-либо оболочки, не кодируют никаких белков (таких размеров хватило бы для кодирования лишь коротких полипептидов) и, очевидно, реплицируются при участии ферментов растительной клетки. В течение некоторого

времени высказанное Т. Динером предположение, что возбудители ПСТЭ представляют собой вирионы, поражающие животных, было весьма популярно.

Однако вскоре выяснилось, что воздействия, вполне эффективно инактивирующие вирионы, в частности ферменты, разрушающие РНК (рибонуклеазы), на агент скрэпи не влияют. В печати появилось сообщение, что инфекционность этого агента будто бы ассоциирована с низкомолекулярной ДНК, но проверка в других лабораториях не подтвердила этих данных.

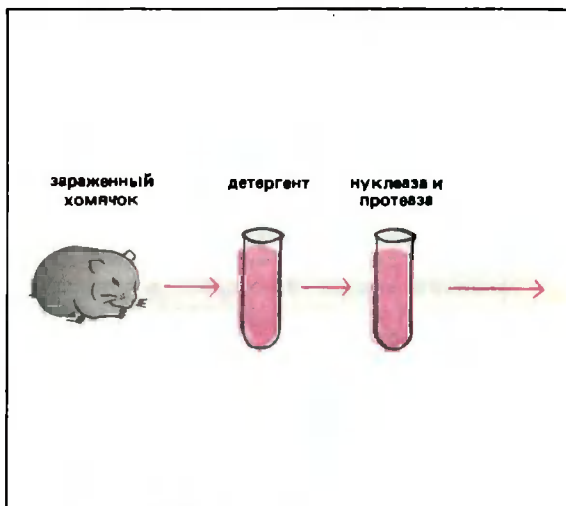


Схема очистки белка приона.

Таким образом, к началу 80-х годов природа возбудителей ПСТЭ оставалась по-прежнему таинственной; ясно было лишь, что они качественно отличаются от всех известных инфекционных агентов. Выходом из тупика могла быть только разработка эффективных методов очистки агентов ПСТЭ.

АГЕНТ СКРЭПИ, ПО-ВИДИМОМУ, НЕ СОДЕРЖИТ НУКЛЕИНОВОЙ КИСЛОТЫ

Решению этой задачи способствовало, в первую очередь, создание в 1971 г. группой исследователей под руководством Г. Чэндлера (Великобритания) относительно быстрого и простого метода титрования инфекционности агента скрэпи на сирийских хомячках. У этих животных инку-

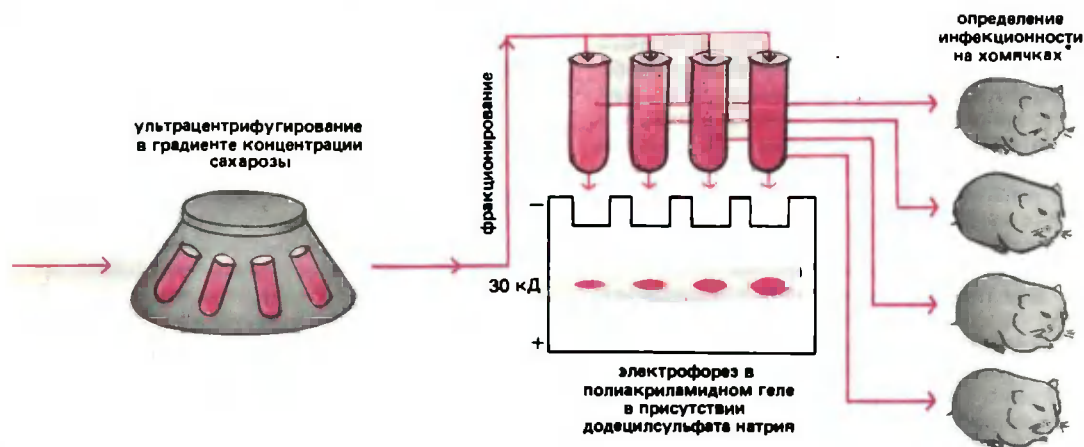
¹ Gibbons R. A., Hunter G. D. — Nature, 1967, v. 215, p. 1041.

² Diener T. O. — Ann. Rev. Microbiol., 1982, v. 36, p. 239.

бационный период заболевания намного короче, чем у овец и даже мышей, причем его продолжительность обратно пропорциональна заражающей дозе. Теперь определить инфекционность одного образца можно всего лишь за 60—70 дней на четырех хомячках. Таким образом, эксперименты по очистке агента стали посильным делом. Как и следовало ожидать, это привело к быстрому прогрессу исследований. (Эта ситуация, на наш взгляд, достаточно эффектно показывает, как такая «проза жизни», как выбор подходящего лабора-

дало достаточно детальную информацию о структуре и свойствах инфекционного агента⁶.

Все попытки обнаружить в препаратах агента скрэпи нуклеиновую кислоту ни к чему не привели. С другой стороны, в освобожденных от мембран препаратах был обнаружен единственный белок с молекулярной массой около 30 000 дальтон (так называемый 30 К белок) или набор белков с очень близкими молекулярными массами. На последней стадии очистки экстрактов тканей (центрифугирование в



торного животного, может иметь определяющее значение для решения кардинальных биологических проблем.) Важную роль сыграло также подключение к работе над проблемой ПСТЭ группы биохимиков Калифорнийского университета под руководством С. Прузинера.

Разработанные этой группой схемы очистки агента скрэпи оказались неожиданно довольно простыми и включали сочетание стандартных методов ультрацентрифугирования и электрофореза; ключевыми этапами явились, по-видимому, освобождение инфекционного агента от мембран путем продолжительной обработки высокими концентрациями детергентов, а также обработка препаратов ферментами, расщепляющими нуклеиновые кислоты (нуклеазами) и белки (протеазами). В результате были получены препараты с достаточно высокой степенью очистки — примерно в тысячу раз по удельной инфекционности, т. е. по инфекционности в расчете на содержание белка в препарате. Исследование таких очищенных препаратов

градиенте концентрации сахарозы) инфекционный агент вел себя, как гетерогенный набор частиц, близких по размерам к мелким вирусам. Фракции, отличающиеся повышенной инфекционностью, содержали большее количество 30 К белка. Когда в аналогичных условиях разделяли экстракты нормальных тканей, в соответствующих фракциях также находили белки с молекулярной массой около 30 000 дальтон. Разница между инфекционными и контрольными препаратами выявлялась при обработке препаратами: в условиях, когда все белки нормальной ткани полностью переваривались, 30 К белок оставался устойчивым. Этот белок расщеплялся лишь при гораздо более длительной протеазной обработке и (или) при более высоких концентрациях фермента. Параллельно с уменьшением количества 30 К белка снижалась и инфекционность. Аномальная устойчивость 30 К белка к про-

⁶ Prusiner S. B. — Science, 1982, v. 216, p. 136.

теазам исчезала, если препараты обрабатывали додецилсульфатом натрия (мощный ионный детергент); при этом резко снижалась и инфекционность. В электронном микроскопе фракции, содержащие инфекционный агент, выглядели, как двойные фибриллы диаметром 4—6 и длиной 50—500 нм, и, по-видимому, состояли из 30 К белка⁷. Вероятно, конформация 30 К белка в составе этих фибрилл такова, что он мало доступен для протеаз. Содержание фибрилл в препаратах коррелирует с титром инфекционного агента; поэтому вполне логично предположить, что эти фибриллы и являются его инфекционной формой.

Для определения минимальных размеров инфекционного агента частично очищенные препараты после длительной обработки высокоактивным детергентом исследовали с помощью гель-фильтрации (хроматографический метод, позволяющий делить макромолекулы в соответствии с их размерами). Оказалось, что в этих условиях агент скрэпи ведет себя, как белок с молекулярной массой не менее 16 000 и не более 50 000 дальтон.

Все приведенные данные указывают на то, что 30 К белок является существенным компонентом инфекционного агента; более того, минимальные размеры инфекционной единицы близки к размерам мономерной формы этого белка. Для решения принципиального вопроса о природе инфекционного агента скрэпи группа С. Прузинера совместно с лабораторией Т. Динера тщательно изучили действие на инфекционность очищенных препаратов разнообразных инактивирующих воздействий⁸. Все факторы, специфически инактивирующие нуклеиновые кислоты (нуклеазы, двухвалентные катионы и пр.), не влияли на инфекционность агента скрэпи; факторы, действующие только на белок (протеазы, денатурирующие агенты), напротив, резко снижали инфекционность. На этом основании С. Прузинер в порядке рабочей гипотезы высказал предположение, что агент(ы) ПСТЭ относятся к совершенно новому классу патогенов, не имеющих в своем составе нуклеиновой кислоты, но содержащих необходимый для проявления инфекционности белок. Для обозначения объектов этого класса С. Прузинер предложил термин «прион» (по транслитерации начальных букв первых двух слов в слово-

сочетании protein infectious particle — белковая инфекционная частица, англ.).

В самое последнее время группа С. Прузинера опубликовала результаты своих новых опытов, которые могут стать началом решающего прорыва в изучении структуры и путей репликации прионов⁹. Во-первых, исследователям удалось, наконец, получить антитела против белка приона. Для этого потребовалось ввести животным очень большое количество 30 К белка. По-видимому, это обусловлено низкой иммуногенностью данного белка. Во-вторых, опять-таки используя значительные количества очищенного белка приона, С. Прузинер и его сотрудники определили последовательность первых 15 аминокислотных остатков в его полипептидной цепи¹⁰:

NH₂ — гли — глн — гли — гли — гли — гли — тре — гис — асн — глн — три — асн — лиз — про — сер — лиз — ...

Сравнение этой последовательности со всеми известными сейчас аминокислотными последовательностями белков пока не выявило каких-либо «родственников» приона. Тем не менее нельзя сомневаться, что эти результаты открывают самые широкие перспективы в исследовании ПСТЭ и их возбудителей.

Вполне естественно, что далеко не все исследователи разделяют столь «еретические» взгляды на природу агентов ПСТЭ. Одни специалисты подвергают сомнению сами экспериментальные факты, лежащие в ее основе. Так, в самое последнее время появились работы, в которых пересматриваются представления об аномальной устойчивости агента скрэпи к различным инактивирующим воздействиям и делается вывод, что этот агент может быть более или менее обычным вирусом¹¹. Наиболее серьезный аргумент в пользу такой точки зрения основан на анализе опубликованных ранее данных по инаktivации возбудителя ионизирующей радиацией; использование усовершенствованного метода расчета размера мишени позволяет предположить, что агент скрэпи содержит нуклеиновую кислоту, близкую по размерам к геномам мелких вирусов. Сейчас трудно сказать, в чем причина этих расхождений. Тем не менее мы полагаем, что эти сомнения не меняют в целом сложившуюся ситуацию. Слишком много данных

⁷ Prusiner S. B. et al. — Cell, 1983, v. 35, p. 349.

⁸ Diener T. O. et al. — Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1982, v. 79, p. 5220.

⁹ Bendheim P. E. et al. — Nature, 1984, v. 310, p. 418.

¹⁰ Prusiner S. B. et al. — Cell, 1984, v. 36, p. 127.

¹¹ Rohwer R. G. — Nature, 1984, v. 308, p. 658; J. dem. — Science, 1984, v. 223, p. 600.

из разных лабораторий не укладывается в представление о вирусных свойствах агентов ПСТЭ.

Другие специалисты, не высказывая сомнения в точности экспериментов группы С. Прузинера и других исследователей, подтверждающих эти данные, тем не менее считают, что агенты ПСТЭ могут быть вирусами с несколько необычными свойствами.

ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ РЕПЛИКАЦИИ ПРИОНА

Итак, мнения исследователей о природе инфекционного агента скрэпи разделились: одни полагают, что возбудитель скрэпи содержит нуклеиновую кислоту, другие считают, что за инфекционность скрэпи ответственен белок.

Одна гипотеза первой группы призвана так или иначе спасти ортодоксальное представление о том, что любой самовоспроизводящийся биологический объект должен содержать нуклеиновую кислоту, которая самостоятельно реплицируется. По-видимому, имеющиеся экспериментальные данные достаточно надежно исключают такую гипотезу, по сути дела отождествляющую прионы с «каноническими» вирусами. Действительно, геному, кодирующему белок с молекулярной массой около 30 000 дальтон, просто негде было бы уместиться в пределах частицы, которая ведет себя при гель-фильтрации, как белок с молекулярной массой от 16 000 до 50 000 дальтон. Да и вряд ли можно представить себе, чтобы этот геном был полностью защищен от всех инактивирующих воздействий.

Сложнее обстоит дело со второй гипотезой этой же первой группы. Не оспаривая надежность экспериментальных данных, полученных группой С. Прузинера, Р. Кимберлин считает, что пока нет оснований отказываться от традиционного представления об обязательности присутствия нуклеиновой кислоты в любой реплицирующейся биологической системе. По его мнению, агент скрэпи состоит из короткой нуклеиновой кислоты, которая реплицируется при участии ферментов клетки-хозяина и хозяйского белка, выполняющего какую-то функцию, необходимую для проявления инфекционности¹². Р. Кимберлин предлагает называть такие агенты «вирино» (т. е. «крошечный вирус», по аналогии с

нейтрино у физиков). По-видимому, некоторые ведущие исследователи склонны считать именно эту гипотезу наиболее удовлетворительным на сегодня объяснением свойств прионов.

Эта гипотеза хорошо согласуется с некоторыми экспериментальными данными, в частности с существованием стабильных штаммов агента скрэпи и возможностью получения мутантов. Но, с нашей точки зрения, ее ценность существенно снижается из-за отсутствия каких-либо прямых данных, доказывающих присутствие нуклеиновой кислоты в агенте скрэпи. Р. Кимберлин сравнивает сложившуюся сейчас ситуацию в изучении агентов ПСТЭ с положением в вирусологии 30-х годов, когда инфекционным началом вирусов считали белок. Пожалуй, однако, еще более настойчиво напрашивается сравнение с дискуссией по поводу генетической функции ДНК в 50-х годах. Тогда некоторые исследователи (в том числе весьма авторитетные) не могли отрешиться от устоявшегося представления, что «молекула жизни» — это белок и генетический материал должен состоять именно из него. Их возражения против убедительных экспериментов, доказывающих генетическую роль ДНК, сводились к тому, что используемые недостаточно очищенные препараты могли содержать примесь белка. Эта позиция, безусловно, сыграла определенную позитивную роль, так как стимулировала развитие методов очистки ДНК. Однако в какой-то момент дальнейшие споры о генетической роли ДНК утратили смысл и магистральным направлением развития молекулярной биологии стало выяснение механизмов функционирования ДНК.

Нам представляется, что такой поворотной точки теперь достигло исследование природы агентов ПСТЭ (вообще же зеркальная повторяемость коллизий «нуклеиновая кислота — белок» в разных масштабах и в разные периоды развития биологии, наверное, могла бы послужить интересной темой для историков науки).

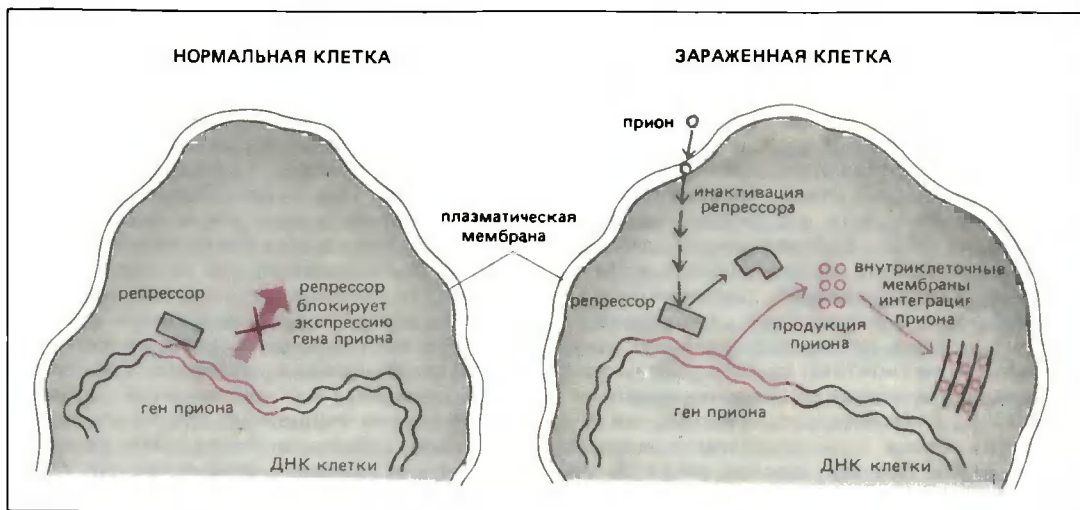
Исходя из этого рассмотрим последовательно гипотезы второй группы. Первая из них является очевидным нарушением «центральной догмы» молекулярной биологии, сформулированной в свое время Ф. Криком и гласящей, что генетическая информация передается только от нуклеиновой кислоты к белку и никогда — в противоположном направлении. По-видимому, в клетках ныне существующих организмов действительно отсутствуют механизмы «обратной трансляции» (если же

¹² Kimberlin R. H. — Nature, 1982, v. 297, p. 107.

такие механизмы есть, то надо признать, что мы даже отдаленно не можем себе представить принципов их работы). Таким образом, в отсутствие прямых подтверждений эту гипотезу следует рассматривать как в высшей степени маловероятную.

Вторая гипотеза этой группы, постулирующая нематричный автокаталитический синтез белка приона, в некотором смысле менее «еретическая». Нематричный синтез пептидов в клетке, вообще говоря, известен: таким путем синтезируются, например, некоторые антибиотики пеп-

репрессор гена, находящегося у хозяина, и тем самым включает этот до тех пор молчавший ген. Вероятно, как репрессия, так и активация гена приона осуществляются на транскрипционном уровне, когда идет самовоспроизведение, репликация нуклеиновой кислоты. (Подавление его экспрессии в норме должно быть весьма надежным!) Все попытки вызвать у животных ПСТЭ введением высоких доз суспензии нормального мозга ни к чему не привели. Кроме того, так как в пораженных клетках белок приона образуется в весьма



Гипотетическая схема репродукции гена приона. В нормальной клетке (слева) ген приона «молчит», поскольку заблокирован репрессором. В клетках, зараженных агентами ПСТЭ, чужой прион встраивается в цитоплазматическую мембрану, в результате протеинкиназных реакций (или путем прямого взаимодействия) инактивирует репрессор, тем самым включает в работу клеточный ген. Клеточный прион накапливается уже во внутриклеточных мембранах.

значительных количествах, концентрация соответствующей мРНК также должна быть высокой. Кажется маловероятным синтез в нормальных клетках многочисленных копий совершенно не транслируемой мРНК.

Мы, конечно, можем только гадать по поводу того, каковы конкретные механизмы активации прионом транскрипции собственного гена. Известно, что белок приона прочно связан с мембранами пораженных клеток. Напрашивается аналогия с другой системой, в которой мембранные белки оказывают глубокое влияние на метаболизм клетки. Речь идет о продуктах ряда вирусных и клеточных онкогенов, которые, взаимодействуя с клеточными мембранами, запускают сложную и не вполне еще расшифрованную цепь событий, приводящих к злокачественной трансформации клетки. Известно, во всяком случае, что ключевую роль в этой цепи играют реакции фосфорилирования определенных белков, катализируемые специфическими протеинкиназами (т. е. фер-

тидной природы. Однако случаи нематричного самовоспроизведения белка неизвестны, а создание такого механизма — исключительно сложная задача, особенно для белка, полипептидная цепь которого состоит не менее чем из 300 аминокислотных остатков.

Таким образом, методом исключения пришли к третьей гипотезе, согласно которой прион — это клеточный белок, не синтезируемый в организме (т. е. ген, кодирующий его, в норме не работает). Попадая в клетку, чужой прион инактивирует

ментами, участвующими в переносе фосфатных групп от их универсального донора — АТФ — к какому-либо акцептору, в данном случае к остатку тирозина в молекуле белка); во многих случаях киназами являются сами «онкобелки».

Можно предположить, что и белок приона, встраиваясь в клеточные мембраны, запускает некий специфический каскад протеинкиназных реакций, в результате которых репрессор транскрипции гена приона фосфорилируется и инактивируется. Нельзя исключить, конечно, и возможность прямого взаимодействия приона с этим гипотетическим репрессором, и непосредственную активацию прионом транскрипции его собственного гена, «молчащего» в отсутствие своего продукта. Следует отметить, что активация белком собственного гена достаточно хорошо известна: таким способом регулируется, например, работа некоторых генов бактериофага лямбда.

Предлагаемая гипотеза, на наш взгляд, не противоречит тому, что известно сегодня о свойствах приона. Возможность получения «штаммов» могла бы объясняться множественностью форм гипотетического гена приона. Косвенным подтверждением существования в клетке такого гена служат данные о взаимодействии разных «штаммов» агента скрэпи (различающихся по продолжительности инкубационного периода — единственному надежному генетическому признаку агента) с разными линиями животных. В результате таких исследований выявлены гены *zip* (у овец) и *sinp* (у мышей), имеющие множественные аллели, обуславливающие различную длительность инкубационного периода для разных «штаммов» скрэпи¹³.

Еще меньше, чем о механизмах репродукции приона, мы можем сейчас сказать о его функциях в нормальной жизнедеятельности животных (если такие функции вообще имеются). Как уже отмечалось, у взрослых животных в норме ген приона, по-видимому, молчит. Может быть, продукт нашего гипотетического гена выполняет некие функции на каких-то стадиях эмбриогенеза? Представляет определенный интерес и сходство между фибриллами, ассоциированными с инфекционностью агента скрэпи, и фибриллами мозгового амилоида, накапливающегося при ПСТЭ и при болезни Альцгеймера. И те, и другие структуры в электронном микроскопе вы-

глядят одинаково¹⁴. Возникает вопрос: не может ли развитие болезни Альцгеймера быть обусловлено включением молчащего гена приона? Не имеет ли этот ген какого-то отношения и к механизмам «нормального» старения? Ясно, однако, что здесь наши предположения уже грозят перейти в область чистой фантазии.

Разумеется, все сказанное о возможных путях репликации приона не более чем гипотеза, причем слабо подкрепленная экспериментальными данными. Излагая эти соображения, мы стремились, главным образом, подчеркнуть два основных, достаточно общих положения: во-первых, имеющиеся в настоящее время данные о структуре и свойствах прионов заставляют серьезно относиться к возможному существованию инфекционных агентов, не содержащих нуклеиновой кислоты; во-вторых, для построения схемы репликации таких агентов необязателен пересмотр сформулированных в современной биологии принципов передачи информации в живых системах.

Последние достижения в очистке и изучении белка приона ясно указывают направления дальнейших исследований. С помощью антител против этого белка можно определить его точную локализацию в тканях пораженных животных и охарактеризовать образуемые прионом структуры. Несомненно, на основе известной аминокислотной последовательности части белка с использованием словаря генетического кода будут синтезированы кодирующие эту последовательность полинуклеотиды. Используя их в качестве зондов для молекулярной гибридизации, можно будет выделить из полученной методами генетической инженерии библиотеки генов какого-либо животного ген приона (конечно, в том случае, если обсуждавшаяся выше гипотеза более или менее близка к истине и такой ген существует). Это позволит изучить полную структуру этого гена и механизм его выражения. Если же ген приона обнаружен не будет... Что ж, в этом случае может возникнуть необходимость затронуть «догмы». Однако об этом пока рано говорить: лучше дожидаться новых результатов, которые при современных темпах молекулярно-биологических исследований должны появиться в самом ближайшем будущем.

¹³ Dickinson A. G., Fraser H.— In: *Slow transmissible diseases of the nervous system*. V. 1. N. Y., 1979, p. 367.

¹⁴ Merz P. A. et al.— *Nature*, 1983, v. 306, p. 474.

Древнейшие следы жизни

(по материалам 27-й сессии Международного геологического конгресса)

И. Н. Крылов



Игорь Николаевич Крылов, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Геологического института АН СССР. Занимается проблемами стратиграфии докембрия и изучением древнейших органических объектов. Автор нескольких монографий и популярной книги: *На заре жизни*. М., 1972. В «Природе» опубликовал статью (совместно с Г. А. Заварзиным): Цианобактериальные сообщества — колодезь в прошлое (1983, № 3). Член редколлегии журнала «Природа».

Геологическую историю нашей планеты невозможно понять в отрыве от истории населяющего ее животного и растительного мира. Биосфера активно влияет и влияла на многие геологические процессы — выветривание, осадконакопление, образование различных горных пород, в том числе и полезных ископаемых. Поэтому геологов всегда интересовали данные о древнейших обитателях нашей планеты. На 27-й сессии Международного геологического конгресса (Москва, 4—14 августа 1984 г.) проблемы происхождения и древнейших следов жизни затрагивались так или иначе в нескольких десятках докладов на различных секциях — палеонтологии, геологии докембрия, стратиграфии, литологии, металлогении и рудных месторождений и др.; работал специальный межсекционный симпозиум «Происхождение и развитие жизни на Земле» (председатели — М. Шидловски, Л. М. Мухин и автор предлагаемой статьи). Невозможно, конечно, в небольшой статье даже коротко изложить содержание всех докладов, произнесенных или опубликованных в материалах Конгресса по данной теме. Постараюсь показать общую картину.

Вопрос о происхождении жизни интересовал человека с древнейших времен, но до середины прошлого века проблемы рассматривались только на уровне теоло-

гических трактатов. Научный подход к проблеме начался с возрождения в прошлом веке гипотезы панспермии, идущей из глубин античности. Суть ее в том, что жизнь, хотя бы в виде простейших микроорганизмов, могла быть занесена на Землю из космоса, допустим, на метеоритах. Эта гипотеза была с энтузиазмом поддержана такими выдающимися исследователями, как С. А. Аррениус — он считался автором гипотезы панспермии в ее современном виде, Г. Л. Ф. Гельмгольц, У. Томсон (лорд Кельвин), а сейчас — Ф. Крик и Ф. Хойл. Однако, по существу, эта гипотеза ничего не меняла в подходе к проблеме. Она не отвечала на вопрос — как произошла жизнь, она только говорила, что это произошло когда-то вне Земли. Дж. Бернал даже назвал ее лукавой уловкой ума, желающего уклониться от решения проблемы. К тому же гипотеза панспермии в начале нашего века оказалась перед неразрешимой проблемой: космические странники должны были выдерживать не только холод и вакуум межзвездного пространства, но и губительные излучения, пронизывающие космос.

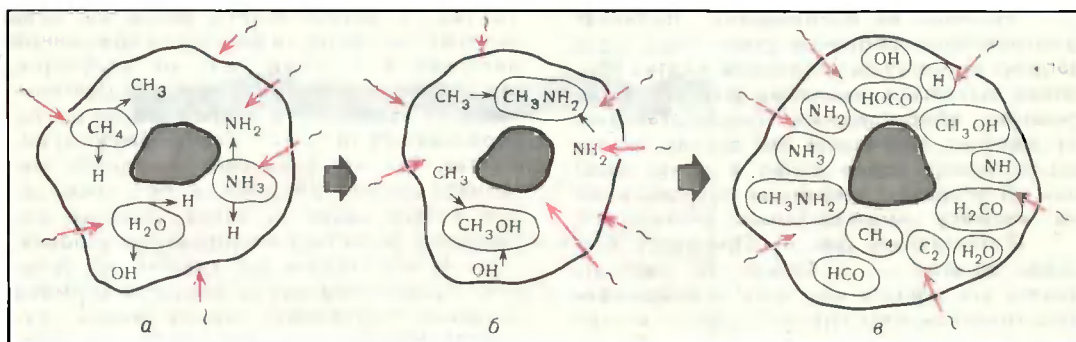
В 1924 г. советский исследователь А. И. Опарин выдвинул гипотезу происхождения жизни на нашей планете из первичного неорганического вещества путем постепенной «сборки» атомов углерода,

кислорода, водорода и других элементов сначала в достаточно сложные молекулы, затем — в цепи молекул, а далее — в их сложные агрегаты (коацерватные капли), явившиеся прародителями будущих живых клеток. Эта гипотеза, ставшая со временем общепризнанной, основывалась главным образом на данных биологии и химии.

Представления А. И. Опарина очень привлекательны для ученых еще и потому, что многие их положения могут быть проверены в лаборатории. Можно взять смесь газов, отвечающую теоретическим пред-

ролиз. Подсчеты показали, что «первичный бульон», получающийся подобным путем, будет слишком «жидким» для синтеза более сложных соединений, а главное — отрезок времени между формированием Земли и обнаружением первых ископаемых организмов слишком мал для эволюции даже простейших прокариот.

Однако имеются еще по меньшей мере два источника, два возможных поставщика строительных блоков будущих органических конструкций: космос и земные недра.



Последовательность образования оболочек из органических соединений на микропылинках под воздействием ультрафиолетового облучения при 10 К: а — процессы фотодиссоциации, б — радикал-радикальная рекомбинация, в — образование новых молекул и радикалов (по Дж. М. Гринбергу).

ставлениям о возможном составе первичной земной атмосферы, поместить в запаянные колбы и подвергнуть воздействию электрических разрядов, различным облучениям, в частности ультрафиолетовому. При этом действительно образуются сложные соединения, которые могли бы стать «строительными блоками» будущих живых существ: аденин, гуанин, а при последующих реакциях могут быть получены и гораздо более сложные полимеры — пептиды, полипептиды и т. д.

Поэтому вначале все казалось очень несложным: в Мировом океане, в условиях абсолютной стерильности (никаких микробов-то нет!), при неограниченном времени (миллионы, миллиарды лет) происходит накопление «строительных кирпичей» и «блоков» будущих организмов: вода превращается в «первичный бульон», в котором и осуществляется сборка более сложных органических конструкций. Но выяснилось, что в воде и в первичной атмосфере происходит не только синтез, а и разрушение сложных молекул — фотодеструкция, гид-

Радиоастрономы выяснили, что в межзвездном пространстве существует более полусотни сложных соединений — цианистый водород, окись углерода, формальдегид, разнообразные газы. Космическая органика могла бы доставляться на Землю на метеоритах и кометах. Но и тут остается почти неразрешимое противоречие: столкновение таких тел с Землей сопровождается их разогревом и взрывами с неизбежным пиролизом сложных органических соединений.

А что если учесть осаждение космической пыли?

В докладе Дж. М. Гринберга (Нидерланды) было показано, что кислород, водород, окись углерода, метан, аммиак и другие газы, оседая на поверхности ультрамикроскопических пылинок, могут вступать в реакции между собой. При этом на пылинках образуются своеобразные оболочки, иногда многослойные, отвечающие по составу карбонильным группам аминокислот, аминогруппам, группам $-\text{CH}_3$, $=\text{CH}_2$, соединениям типа $\text{C}_4\text{H}_6\text{N}_2$ и мочевины. Энергетическим источником при таких реакциях могут служить ультрафиолетовые лучи. Общий состав многослойных оболочек может соответствовать некоторым бактериям, в частности знаменитой кишечной палочке (*Escherichia coli*). Эти данные были получены в результате уникальных экспе-

риментов, проведенных в Лейденском университете. Установка, которой пользовался Дж. М. Гринберг и его коллеги, состояла из гелиевого криостата, обеспечивающего температуру около 10 K в условиях вакуума. Замороженная смесь молекул CH_4 , CO , H_2O , CO_2 , H_2 , N_2 и O_2 с одновременным ультрафиолетовым облучением или без него осаждалась на поверхности пылинки микронного размера. Затем проводились тончайшие исследования с помощью масс-спектрометров, изучались спектры поглощения в видимой, ультрафиолетовой и инфракрасной частях спектра.

Наличие на космических пылинках многослойных оболочек ставит еще один вопрос: не могут ли некоторые из этих оболочек оказаться защитой, такими «зонтиками», оберегавшими микроорганизмы от жестких излучений? Не вносят ли эти исследования новое слово в представления об условиях, в которых путешествуют по космосу «межзвездные скитальцы»?

Естественно, Дж. М. Гринбергу был задан вопрос — а нельзя ли рассматривать эти данные как шаги к возрождению гипотезы панспермии? «Нет, — сказал докладчик, — так далеко я не иду. Я хочу только показать, что на подобных микропылинках, которые входят в атмосферу плавно, без всякого разогрева, словно на космическом лифте, на Землю могли быть доставлены в весьма больших количествах строительные блоки будущих макромолекул и, возможно, будущих живых существ. Можно подсчитать и количество таких материалов. Земля проходит через типичное пылевое облако в течение 100 тыс. — 1 млн. лет, и за это время с космической пылью на ее поверхность может осесть около 10^8 — 10^{10} т органического материала, что значительно превосходит современную биомассу Земли».

В своем докладе Л. М. Мухин (СССР) отметил, что подсчеты массы органического вещества, сделанные Гринбергом, верны в тех случаях, когда Земля проходит сквозь пылевое облако в теоретически оптимальных условиях. Однако ожидать таких условий можно не всегда. Наша Солнечная система расположена в так называемой зоне коротации, где скорости вращения волн плотности в пылевых скоплениях близки к скоростям этих участков Солнечной системы. Образно говоря, Земля может либо многие миллиарды лет лететь в пространстве, свободном от газопылевых частиц, либо двигаться внутри облака, так сказать «по шерсти», и количество выпадающей органики может быть незначительным. Да

и вообще, нужен ли для образования земной жизни этот космический источник органического вещества? Ведь имеется и другой, не менее важный источник — земная магма. Вулканы и связанные с вулканической деятельностью горячие (термальные) источники тоже могут являться мощными поставщиками строительных блоков для будущих органических конструкций¹. Одно извержение способно дать до 1 тыс. т органического вещества, а активные вулканы и гидротермы могут существовать 1—100 тыс. лет. Гидротермальная система за 10 тыс. лет может продуцировать до 10 тыс. т органического вещества. Если экстраполировать эти данные на временной интервал в 1 млрд лет, то получится, что только за счет вулканической деятельности на поверхности ранней Земли могло образоваться 10^{12} — 10^{15} т органического вещества. Так что в поисках исходного материала можно обойтись и без космоса: для начала хватит и своих, земных материалов, были бы благоприятные условия.

А что можем мы сказать об условиях, существовавших на Земле во времена создания (появления) первых живых существ? Можно ли восстановить или сравнить с чем-либо эти древнейшие условия?

Т. Оуэн (США) считает, что одним из путей такой реконструкции истории палеообстановки на Земле могло бы стать сравнительное изучение других планет Солнечной системы в сочетании с данными о химическом составе древнейших горных пород Земли. Условия на разных планетах значительно отличаются друг от друга, и новейшие данные вновь и вновь подчеркивают эти различия. Однако выявляются и пределы, конечные точки этого разнообразия. Такими точками отсчета можно считать раскаленную плотную атмосферу Венеры, с одной стороны, и вымерзшую, разреженную атмосферу Марса, с другой. Что же касается остальных тел Солнечной системы, то не исключено, что современные условия на спутнике Сатурна — Титане, где имеется азотно-метаново-водородная атмосфера, могут оказаться похожими на первичную обстановку на Земле во время появления на ней жизни².

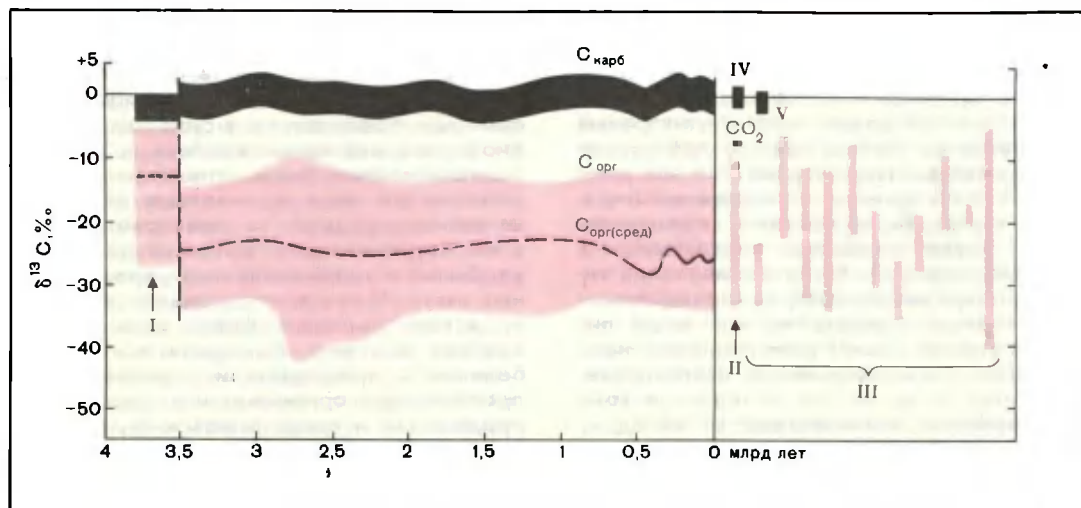
Вопросы происхождения жизни привлекли всеобщее внимание. Но Конгресс-то был геологический, и поэтому особенно

¹ Мархинин Е. К. Предбиологические соединения в пепле вулкана. — Природа, 1974, № 8, с. 71.

² Тугаринов А. И. Геохимическая эволюция Земли. — Природа, 1967, № 11, с. 46.

интересными для слушателей были последние данные о самых древних породах нашей планеты, о древнейших следах жизни в них. Следует вспомнить, что, по единодушному признанию специалистов, Земля образовалась 4,5—4,6 млрд лет назад. До этого происходило соединение, слипание, сплавление блоков и глыб, составлявших протопланетное облако. Представим непрерывные удары гигантских метеоритов весом во многие тонны, расплавление огромных участков планеты, образование земной коры — и будет ясно, что говорить о ка-

очередь надо учитывать данные по изотопному составу углерода. Природный углерод, как известно, представлен смесью легкого изотопа ^{12}C и более тяжелого — ^{13}C . Современные растения охотнее и быстрее усваивают легкий изотоп ^{12}C . По этой причине фитогенные соединения углерода, которые образуются в результате фотосинтетической деятельности растительных организмов, содержат относительно меньшее количество тяжелого изотопа ^{13}C . Относительный недостаток, дефицит этого изотопа — он обозначается $\delta^{13}\text{C}$ — в углеводе



Эволюция изотопного состава углерода, входящего в состав осадочного карбоната ($\text{C}_{\text{карб}}$) и органического углерода ($\text{C}_{\text{орг}}$) в течение геологического времени (по М. Шидловски). Для сравнения на схеме приведен изотопный состав углерода: I — древнейших осадочных пород Земли (Формация Исуа, возраст около 3,8 млрд лет), II — современных морских осадков, III — различных автотрофных организмов, IV — современных морских карбонатов, V — морских бикарбонатов.

кой-либо жизни в такой обстановке вряд ли возможно.

Столь же общепризнанной является и дата 3,8 млрд лет назад как время появления первых водоемов — первых земных морей, в которых начали отлагаться осадочные породы: конгломераты, алевриты, железистые кварциты, кремни. Это так называемая формация Исуа в Гренландии, детальнейше изученная специалистами из разных стран. И самое интересное, что в этих породах уже есть углерод, как в виде различных соединений, так и в чистом виде.

М. Шидловски (ФРГ) считает, что для понимания истории земной жизни в первую

изучаемого образца является аргументом в пользу его органического (фитогенного) происхождения. М. Шидловски называет значения $\delta^{13}\text{C}$ в древних породах «отпечатками пальцев жизни». Проведенные им «дактилоскопические» исследования почти 10 тыс. образцов показали, что $\delta^{13}\text{C}$ с самых начальных страниц геологической летописи до наших дней демонстрирует поразительную устойчивость в пределах 26 ± 7 ‰. Начиная с 3,5 млрд лет назад органический углерод составляет около 20 % содержания этого элемента в экзогенной системе. И самый древний «отпечаток» встречен в породах формации Исуа. Правда, там $\delta^{13}\text{C}$ имеет несколько меньшие значения, около $13 \pm 4,9$ ‰, но это отклонение может быть объяснено тем, что породы формации Исуа подверглись некоторому метаморфизму — до фации зеленых сланцев. Таким образом, жизнь появилась на Земле одновременно с появлением на поверхности нашей планеты первых осадочных пород и первых значительных количеств жидкой воды. Произошло это довольно быстро: 4,6 млрд лет

назад еще только заканчивалось формирование Земли и заведомо не было никаких условий для существования живых существ, а 3,8 млрд лет назад жизнь уже полностью контролировала земной цикл углерода.

Возможно ли реконструировать биосферу первых этапов развития Земли, базируясь на доступных нам материалах?

По мнению микробиолога Г. А. Заварзина (СССР), в общем-то нет ничего поразительного в выдержанности основных параметров биогеохимической деятельности земных организмов. Жизнь началась с создания прокариотной экосистемы, которая стабилизировала биосферу и установила биогеохимические циклы элементов. Первые организмы могли существовать в очень простой среде, используя газовые выделения из глубин, как это происходит в современных гидротермах. Но все дело в том, что эти организмы развивались очень бурно и очень быстро создали сложную систему. Новые организмы, появившиеся в ходе эволюции, как бы вкрапливались в эту экосистему, не изменяя ее принципиально, а только удлиняя те или иные пищевые (трофические) цепи. Конечно, каждое новое существо изменяло какое-то звено единой цепи, но это немедленно компенсировалось изменениями в соседних звеньях, и общий эффект оставался постоянным. Первичные микроорганизмы — прокариоты — быстро расселились по всей планете. Их суммарная биомасса, очевидно, была сопоставима с современной, а общий итог их деятельности уже на самых ранних стадиях был грандиозен. Они изменяли атмосферу, поглощая углекислый газ и выделяя кислород, который тут же шел «в дело» — на образование сульфатов морской воды, осаждение гигантских количеств железа (вспомним о джеспилитах Кривого Рога, Курской магнитной аномалии и др.), марганца и других ископаемых. Относительно небольшой процент свободного кислорода поступал и в атмосферу, создавая необходимые предпосылки для появления эвкариот. С азотом все происходило наоборот: бактерии связывали свободный азот атмосферы в соединения, которые потом могли потребляться эвкариотами. Прокариоты контролировали и цикл серы. Цианобактериальные сообщества строили рифоподобные постройки — строматолиты, осаждая огромные массы карбоната кальция.

Добавлю от себя, что огромный вклад в наше понимание природы строматолитов вносят работы по моделированию их

образования, которые проводятся в лаборатории Г. А. Заварзина в Институте микробиологии АН СССР. Уже первые полученные результаты во многом уточнили наши прежние теоретические представления, а кое в чем заставили взглянуть на проблему совсем по-новому. Но не будем отвлекаться.

Здесь важно отметить и другую, так сказать, обратную сторону этого процесса. Изменялась атмосфера, и на смену бескислородной среде, в которой вольготно жили организмы-анаэробы, пришла среда окислительная, со значительным количеством свободного кислорода, который являлся настоящим ядом для многих групп первичных организмов — прокариот. В новой кислородной атмосфере появились и совсем иные, более активные существа — эвкариоты, сначала одноклеточные, а затем и многоклеточные. Эти многоклеточные эвкариотные растения и животные обошлись со своими предками — прокариотами совсем неуважительно, вытеснив их в «неудобные» экологические ниши, вроде соленых лагун. И все же прокариоты остались существенным компонентом всех последующих биосфер. Вымирали псилофиты, белемниты, птеродактили и динозавры, а прокариотные организмы и их ассоциации продолжали и продолжают жить, побивая все рекорды длительности существования. Так, современные *Metallogenium* и их давние предки *Eoastrium*, появившиеся более 2 млрд лет назад, и внешне абсолютно идентичны, и, судя по всему, вели себя абсолютно одинаково, окисляя железо и марганец. Изучение современных и ископаемых прокариотных организмов и их систем — ключ к познанию древних условий. Они способны рассказать, какие условия были на Земле, когда кроме этих систем на ней ничего не было.

Здесь мы подошли к самой интересной проблеме, отражающей гигантский прогресс науки за последние 15—20 лет. Речь идет о палеонтологии докембрия. Этот раздел исследований посвящен древнейшим живым существам нашей планеты. Лет 25—30 назад казалось, что такой науки в принципе не может быть. Палеонтологи, как известно, изучают раковины, панцири и скелеты древних животных. На первая раковина появилась на Земле менее 600 млн лет назад, а первый скелет позвоночного — менее 500 млн лет назад. Сейчас остатки живых существ докембрийских эпох известны в сотнях месторождений, а число найденных экземпляров насчитывает многие тысячи.

О палеонтологии докембрия, об истории развития органического мира на его ранних этапах, говорилось в прочитанных или опубликованных к Конгрессу докладах С. Аврамика, П. Клауда, Дж. В. Шопфа (США), Ж. Бертран-Сарфати (Франция), М. Глесснера (Австралия), Б. С. Соколова, М. А. Федонкина (СССР) и многих других. Читатели «Природы» хорошо знакомы с многими из этих материалов, поэтому напомним только некоторые основные положения. В породах, образовавшихся начиная с 3,5 млрд лет назад (а по мнению некоторых исследователей, и раньше — с 3,8 млрд лет назад), встречаются остатки микроскопических организмов — микрофоссилий — и рифоподобные постройки — строматолиты. Микрофоссилии — это муцифицированные остатки оболочек микроорганизмов или их точные копии — псевдоморфозы, образовавшиеся в результате замещения клеток водорослей и бактерий кремнеземом или другими минералами. Сохранность таких остатков бывает совершенно удивительной: под микроскопом с увеличением в тысячи раз можно видеть мельчайшие детали их строения.

Можно отметить не без сожаления, что пока мы знаем только внешний вид этих остатков, их морфологию. Насчитываются десятки или даже сотни родов таких организмов и многие сотни их видов. Всего 8 лет назад, на 25-й сиденейской сессии Геологического конгресса мы радовались первым десяткам древнейших организмов. Сейчас — это сотни и тысячи находок, но специалисты уже начинают выражать неудовлетворение современным уровнем их изученности. Знать морфологию организмов — это очень много. Но, как оказалось, недостаточно, ибо сходный вид могут иметь различные микроорганизмы. Если мы видим пустотелую трубочку зомицетопсиса — а они встречаются в отложениях возрастом более миллиарда лет на всех континентах, то мы уже не можем с уверенностью утверждать (как это сделал при первом их описании Дж. В. Шопф), что это гифы грибов. Это могут оказаться и чехлы синезеленых водорослей, причем довольно разнообразных родов и видов.

К тому же каждый организм, даже самый примитивный, может иметь разные размеры и облик на разных стадиях своего индивидуального развития, и совсем не так просто определить, что перед нами: одноклеточная водоросль или спора более сложного нитчатого или еще какого-нибудь существа. Еще более разнообразные изменения могут происходить с микрооргани-

змами после их смерти. Во время посмертных изменений (деградации) тельца и нити водорослей и бактерий могут сжиматься или расширяться, их оболочки могут разрушаться, так что нить превращается в бесформенное скопление клеток. Или наоборот, оболочка сохраняется, а разрушаются клетки — и в этом случае мы видим пустотелую трубочку зомицетопсиса.

Лет пятнадцать назад научный мир был потрясен выдающимся открытием уже упоминавшегося американского палеобиолога Дж. В. Шопфа. Он обнаружил в австралийских породах возрастом около 1 млрд лет остатки клеток, внутри которых были отчетливо видны темные округлые и угловатые комочки и сгустки. Положенные рядом изображения современных организмов, взятые из любого учебника биологии, не оставляли сомнений: мы видим клетку с ядром и органеллами. Это уже не безъядерные примитивные прокариоты, а настоящие эвкариоты! К сожалению, все оказалось не так просто. Внутреннее содержимое прокариотных клеток, их протоплазма, после смерти организма может коллапсировать — сжаться в маленький темный комочек, и такая умершая прокариотная клетка становится похожей на эвкариотную с оболочкой и «ядром» внутри.

И все-таки главное — не трудности, а несомненные большие успехи. Сейчас мы знаем до десятка видов микроорганизмов возрастом 3,5—3,3 млрд лет. В более молодых горизонтах докембрия строматолиты и микрофоссилии насчитываются, как уже говорилось, сотнями родов и видов, и мы успешно используем их для определения возраста горных пород. И Конгресс снова подтвердил это.

20—25 лет назад биостратиграфический метод — определение возраста пород по ископаемым остаткам фауны и флоры — применялся только с начала кембрия, приблизительно со времени 550—600 млн лет назад. Сейчас пределы его использования увеличены на целый миллиард лет. Начиная с нижней границы рифея — 1600—1700 млн лет назад — мы уже довольно уверенно можем сопоставлять древнейшие породы не только в пределах крупных бассейнов, но и на разных континентах. Намечаются интересные закономерности в распределении строматолитов на различных уровнях докембрийского геологического разреза. Появилось много описаний очень древних, архейских и нижнепротерозойских строматолитов (напомним, что древнейшие из них встречены



Строматолиты якутофитон из рифея Туруханского района Сибири. Рисунок И. Н. Крылова.

в Западной Австралии в породах возрастом около 3,5 млрд лет). Но важно, что до начала рифея каждый район, каждое местонахождение имеет свой собственный набор, свой собственный эндемичный комплекс строматолитов, и лишь немногие формы распространены более широко и могут быть встречены в разных регионах.

В нижнем рифее, в слоях возрастом 1700—1600 млн лет, появляется характерный саткинский комплекс строматолитов, включающий куссиеллы, омахтении, тиссагетиды и другие группы и формы, одинаково легко узнаваемые и на Урале, и на Анабарском поднятии, и в Восточной Сибири, и в далекой Австралии.

Для среднего рифея очень характерен лахандинский строматолитовый комплекс, который приурочен к слоям возрастом около 1200—1000 млн лет. Он включает чрезвычайно своеобразные постройки — якутофитоны, конофитоны, байкалии и другие, целиком слагающие пласты большой мощности. Этот комплекс распространен еще шире — по всей периферии Сибирской платформы, на Урале, в Канаде, Африке и Мексике.

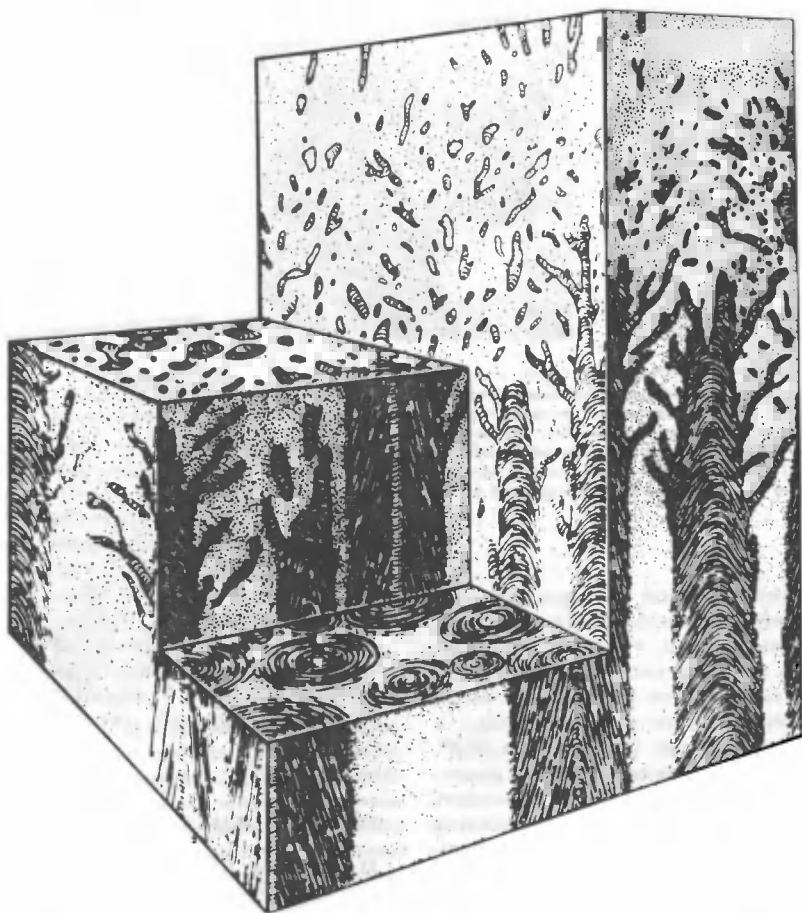
Наконец, в верхнем рифее, в слоях возрастом около 800 млн лет широко распространены гимносолени, миньярии, катавии и другие характерные строматолиты.

Конечно, выделяемые по строматолитам и онколитам подразделения рифея — фитемы — имеют огромную продолжительность, до 300—400 млн лет, и границы между ними не всегда удается установить достаточно отчетливо, потому что некоторые строматолиты могут быть встречены и ниже, и выше характерных уровней. Но в случаях, когда мы имеем дело не с единичными образцами, а с достаточно полными комплексами и ассоциациями строматолитов, возраст пород определяется достаточно четко. В связи с этим в докладах на Конгрессе стало привычным употребление выражений вроде «нижний рифей Австралии», «верхний рифей Африки», «вендские отложения Швеции» и т. п. Конечно, эти названия еще не признаны официально, и идут бурные дискуссии, какое из названий лучше: «аделаидий», «синий в широком смысле», «маленький синий», «эдиакарий?» «А может быть, вообще не нужно никаких названий для докембрия?», как считает канадский геолог П. Хоффман, повторяя вопрос финского исследователя К. Ранкамы, прозвучавший более 20 лет назад.

Но дело не в названиях. В конце концов на каком-то очередном заседании, после долгих споров большинством в два три голоса будет принято какое-то слово, к которому быстро привыкнут геологи всего мира, как привыкли к таким странным, казалось бы, названиям как «триас», «ордовик» и совсем недавно предложенному «фанерозою». Главное не в названии, а в том биологическом и историко-геологическом содержании, которое заключено в выделяемых новых подразделениях древнейших этапов истории нашей планеты.

Примером такого нового подразделения, ожидающего международного признания, является венд: первая настоящая система, входящая в состав протерозоя и расположенная ниже кембрия. Не буду подробнее рассматривать эту проблему: совсем недавно венду была посвящена большая статья, написанная его «основоположником» Б. С. Соколовым³. Венд содержит не только остатки микроорганизмов или построек, образованных с их участием, — строматолитов и онколитов, но и

³ Соколов Б. С. Вендский период в истории Земли. — Природа, 1984, № 12, с. 3.

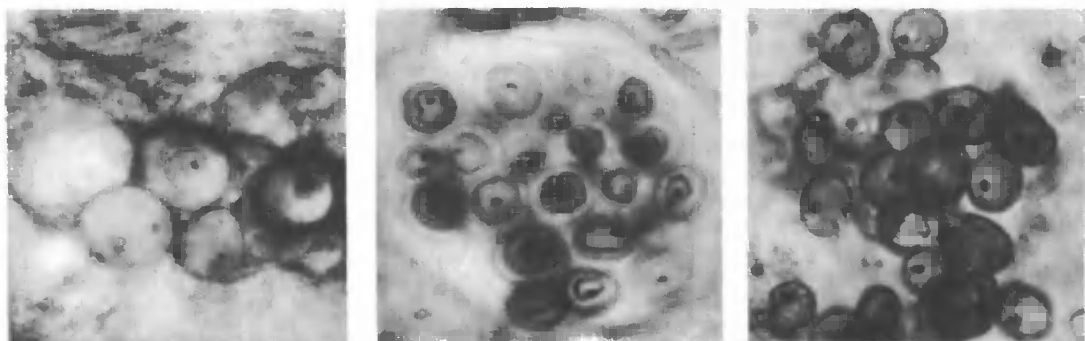


Строматолиты якутофитон из докембрия Мексики.
Рисунок С. Геваллос Феррица.

отпечатки разнообразных многоклеточных животных, еще не имевших скелета: раковин, панцирей, и многоклеточных водорослей — вендотенид, близких к бурым водорослям и являющихся возможными предками будущей наземной флоры. Таким образом, венд получил палеонтологическое и палеоботаническое обоснование. Это не просто определенная стадия тектонического развития земной коры, но и важный этап развития фауны и флоры, предшествовавший бурному развитию скелетных организмов палеозоя.

На Конгрессе венду и его аналогам было посвящено много докладов и выступлений. Были отмечены большие успехи в установлении точной границы между вендом и кембрием. Когда-то предлагались

различные критерии проведения этого рубежа, в том числе тектонические, палеоклиматические (оледенения) и т. д. В конце 1960-х годов советские исследователи уверенно заявили, что единственным методом проведения нижней границы кембрия должен стать метод палеонтологический. Ведь вблизи основания кембрия проходит величайший рубеж в развитии животного мира планеты — появляются животные, способные строить раковины, панцири и другие скелетные образования. Работы международных групп и палеонтологов разных стран полностью подтвердили эту идею. Сейчас уже ни у кого не возникает сомнений, что нижнюю границу кембрия следует проводить в основании слоев с древнейшим, вполне определенным и хорошо изученным комплексом скелетных остатков фауны. Вопрос перешел в иную плоскость: предстоит выяснить, где на земном шаре находится эталон этой границы — место, куда можно было бы, как сейчас модно



Кремнистые микрофоссилии — замещенные кремнеземом остатки древних нитчатых и кокковидных микроорганизмов — из докембрийских отложений Южного Урала: слева — нижнерифейские (1600 млн лет), увел. в 375 раз; в центре и справа — верхнерифейские (около 800 млн лет), увел. в 600 и 750 раз.

говорить, «вбить золотой гвоздь», отделяющий палеозойскую кембрийскую систему от более древних толщ. И в этом вопросе круг проблем значительно сузился: сейчас в мире насчитывается не более 3—4 таких точек, причем все они расположены в Азии — на территории Сибири и в КНР.

Но проблема возникновения и развития животного мира продолжает волновать исследователей. В венде мы знаем многие десятки и сотни разнообразных представителей фауны. Когда, где и как они появились? В каких условиях жили? Как повлияло на них крупное, возможно всемирное, лапландское оледенение, предшествовавшее массовому развитию вендских (эдиакарских) бесскелетных животных? И по каким принципам проводить нижнюю границу венда? Тут удивительно повторяется та же картина, которая наблюдалась когда-то при проведении нижней границы кембрия. Снова появляются предложения о тектонических, палеоклиматических (оледенения!) и тому подобных критериях. Но ведь венд — подразделение биостратиграфическое, и границы его могут быть установлены только на палеонтологической основе. Впрочем, этот вопрос будет рассматриваться и решаться в рамках специального международного проекта, созданного во время работы Конгресса.

Продолжатся работы в рамках международных проектов, изучающих историю нашей планеты в рифее (1700—680 млн лет назад) и на более ранних ее этапах. С этим временем связаны крупнейшие месторождения полезных ископаемых — не ме-

нее 2/3 мировых запасов железа, урана, золота и других элементов. Во время работы Конгресса прошли рабочие заседания участников этих проектов и рабочих групп и намечены планы на ближайшие годы. И здесь огромное значение придается выяснению деятельности организмов. Специалисты в этой области перестают восприниматься как чудачки, неведь зачем изучающие какие-то непонятные древние остатки давно вымерших существ. Палеонтология и палеобиология докембрия расширяет горизонты и выходит на передовые позиции мировой геологической науки.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Мухин Л. М. ПЛАНЕТЫ И ЖИЗНЬ. М.: Молодая гвардия, 1983.
- Заварзин Г. А. БАКТЕРИИ И СОСТАВ АТМОСФЕРЫ. М.: Наука, 1984.
- Камшинлов М. М. ЭВОЛЮЦИЯ БИОСФЕРЫ. М.: Наука, 1979.
- Крылов И. Н. НА ЗАРЕ ЖИЗНИ. М.: Наука, 1972.
- Кальвин М. ХИМИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ. М.: Мир, 1971.

Черный Голиаф

А. К. Матвеев



Александр Кириллович Матвеев, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых геологического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Специалист по геологии угольных месторождений мира и СССР, редактор и составитель «Карты угольных месторождений мира» (М., 1972). В «Природе» совместно с Ю. Р. Мазором опубликовал статью: Будущее угля (1977, № 11).

Казалось бы, все крупные месторождения, залегающие вблизи поверхности, давно открыты и разведаны. Однако в конце 70-х годов в Канаде на месторождении Хэт Крик скважины вскрыли неглубоко залегающий пласт угля мощностью около 450 м. Сообщение об этом гиганте впервые прозвучало в 1979 г. в докладе канадского геолога Г. Кима на годовичном собрании Канадского института горного дела и металлургии¹.

Естествен вопрос, как возник этот крупнейший в мире (по мощности его можно сопоставить лишь с 330-метровым пластом Латроб в Австралии) угольный пласт? В какой геологической обстановке он мог сформироваться?

На первый взгляд, геологическое строение региона исключает всякую возможность образования крупных залежей угля. Согласно общепринятым представлениям, угольные месторождения образуются в результате прогибания и погружения угленосных толщ. Здесь же мы имеем дело с региональным поднятием: начиная с палеозоя и вплоть до антропогена межгорный прогиб в западной части Скалис-

тых гор, где локализуется месторождение Хэт Крик, претерпел ряд последовательных восходящих движений.

Месторождение Хэт Крик сложено породами от средне-эоценового до миоценового возраста, т. е. длительность его формирования составляет около 35 млн лет. Сама же угленосная формация Хэт Крик и подстилающая ее формация Колдуотер, содержащая редкие тонкие прослои угля, складывались, судя по радиоизотопным и палинологическим определениям, на протяжении 6 млн лет.

В плане месторождение Хэт Крик имеет овальную форму, а в вертикальном разрезе напоминает цилиндр, который покоится на кристаллических породах мелового возраста, заполнен осадочными образованиями среднего и позднего эоцена и перекрыт сверху базальтами миоцена. Примечательно зональное расположение пород внутри этого цилиндра. Центральное положение в нем занимает диспергированный сапропелевый материал и мелкозернистые осадки, среди которых залегают уголь. Все эти образования окаймляются участками алевролитов, которые, в свою очередь, сменяются зоной более грубых песчаников и галечных конгломератов.

Угленосная формация Хэт Крик представлена чередованием мощных слоев угля с ничтожными по сравнению с ними

¹ K e m H. Depositional environment and stratigraphic subdivision Het Creek № 1, Canada. Paper Presented 4th Annual Meeting Canadian Inst. of Mining and Metallurgy, 1979.

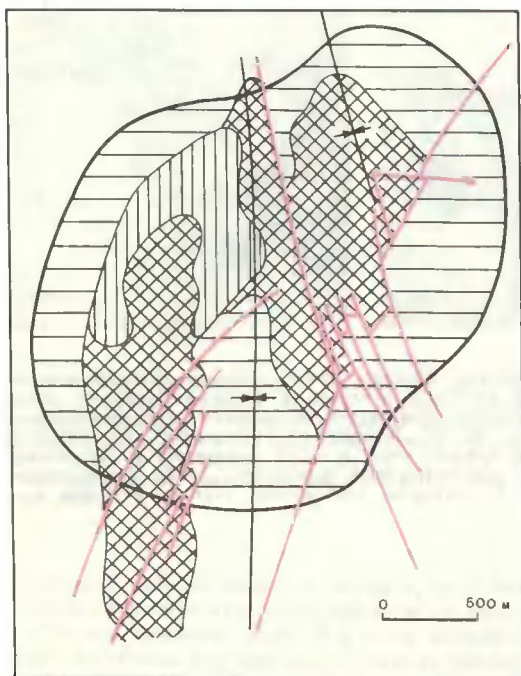


Схема геологического строения угольного месторождения Хэт Крик. Угленосные толщи в центральной части месторождения образуют небольшую пологую ложбину — синклинали. Сбросы, находящиеся внутри контура месторождения, возникли в доолигоценовое время, а раскалывающие его контур — после олигоцена.

Формации:

-  Медисин Крик
-  Хэт Крик
-  Горельники
-  Ось синклинали
-  Сбросы
-  Контур месторождения

прослоями породы. Вся угольная толща расчленяется на четыре угленосные зоны — А, В, С, D, различающиеся как по степени метаморфизма, так и по качеству угля. Качество угля оценивалось путем валового опробования каждой из угленосных зон, т. е. с включением в пробу угля содержащихся в каждой зоне прослоев породы. При таком опробовании выясни-

лось, что теплота сгорания последовательно повышается от верхних слоев к нижним: от 15,5 МДж/кг в зоне А до 21,1 МДж/кг в зоне D. В соответствии с принятой в Канаде и США классификацией по теплоте сгорания, уголь зоны D отнесен к суббитуминозным, зоны С — к переходным от бурых к каменным, зоны В и А — к бурым углям.

Чтобы представить, как образовался этот разнородный угольный пласт, надо вернуться на 6 млн лет назад, к тому времени, когда на месте месторождения находилось торфяное болото. Во-первых, нам необходимо установить, какой мощности исходного торфяника отвечает современная мощность пласта угля, иначе говоря, надо определить величину вертикального сокращения (усадки) торфа в ходе преобразования его в уголь. Во-вторых, следует найти ответ на вопрос, какой была тектоническая и геоморфологическая обстановка, позволившая мощному пласту торфяника Хэт Крик в течение миллионов лет избегать эрозионных процессов, особенно учитывая подвижность этой территории в процессе образования Скалистых гор.

Итак, какую исходную мощность имел торфяник?

Величина коэффициента усадки в процессе преобразования торфа в бурый уголь имеет большой разброс: от 2 до 20. Придерживаясь среднего десятикратного коэффициента (с учетом меньшего коэффициента для содержащихся в угле глинистых прослоев), общую исходную мощность торфяной залежи можно оценить в 3500—4000 м. Если же исходить из нередко встречаемой пятикратной усадки, мощность его, естественно, снизится до 1800—2000 м.

Скорость прироста торфяника зависит от многих факторов, в том числе и от состава торфообразующей растительности. Следовательно, величина прироста торфяников в различные геологические эпохи могла быть различной. Однако изучение спор и пыльцы свиты Хэт Крик показало, что флористический состав в эоценовое время, по существу, не отличался от современного, поэтому прирост торфяника Хэт Крик мы вправе сопоставлять с соответствующими данными по современным торфяникам. Для них средняя величина годового прироста составляет 0,5—1,0 мм. Как показывают несложные расчеты, длительность формирования угленосной толщи Хэт Крик равнялась примерно 3 млн лет. Соответственно, скорость прироста торфяника при десятикратной усадке составля-

	зона	мощность, м
	A	100-225
	AB	0-90
	B	50-70
	C ₁	0-170
	C	15-60
	D	60-100

Строение угольного пласта Хэт Крик. В пласте выделяются четыре угленосные зоны (A, B, C, D), различающиеся по качеству угля и степени его метаморфизма, а также две зоны (AB, C₁), представленные в основном породами.



ла 1,5 мм, а при пятикратной — 0,7 мм в год.

Таким образом, в миоцене торфообразующий материал поступал примерно такими же порциями, как и при образовании современных торфяников. Следовательно, гигантская мощность пласта Хэт Крик не может быть объяснена необыкновенно высокой интенсивностью поступле-

ния исходного материала. Главную роль в формировании этого огромного массива должны были сыграть какие-то другие факторы. Но какие?

Можно предположить, что в эоценовое время здесь сложились уникальные условия, обеспечивающие сохранность громадного по высоте (1800—3500 м) торфяного массива. Такое «бронирование» торфяника в период его развития могло быть связано с образованием его либо в карсте, либо в кальдере, либо во врезе, обусловленном неровностью поверхности ложа торфонакопления.

Относить месторождение к типу карстовых, для которых свойственны пласты угля большой мощности, в данном случае нет оснований: в эоцене и верхнем мелу карбонатные и вообще карстующиеся породы занимали в этом районе весьма скромное место. Для включения же рассматриваемого месторождения в тип кальдерных основания вроде бы есть: кроме присущей такому типу значительной мощности пластов угля, налицо свойственная кальдерам округлая в плане форма угольного пласта и симметричное по отношению к пласту угля латеральное расположение полос глинистых и песчаных пород. Но последний признак свойствен также торфяникам, образовавшимся в подводных русловых течениях, и на этом мы еще остановимся. Еще в пользу кальдерного типа месторождения Хэт Крик свидетельствуют лахары², трактуемые обычно как продукт разрушения выступавших на поверхность стенок кальдеры. Такая кальдера, по мнению Г. Кима, некогда образовывала здесь кратерное озеро. В то же время нельзя не заметить, что пласт угля, имеющий округлый контур в центральной части месторождения, далее начинает расщепляться, переходя в чередующиеся пласты пород и угля. Такое расположение угольных пластов наводит на мысль, что накопление торфа не было полностью замкнуто в пределах кальдеры.

Как же накапливался торф?

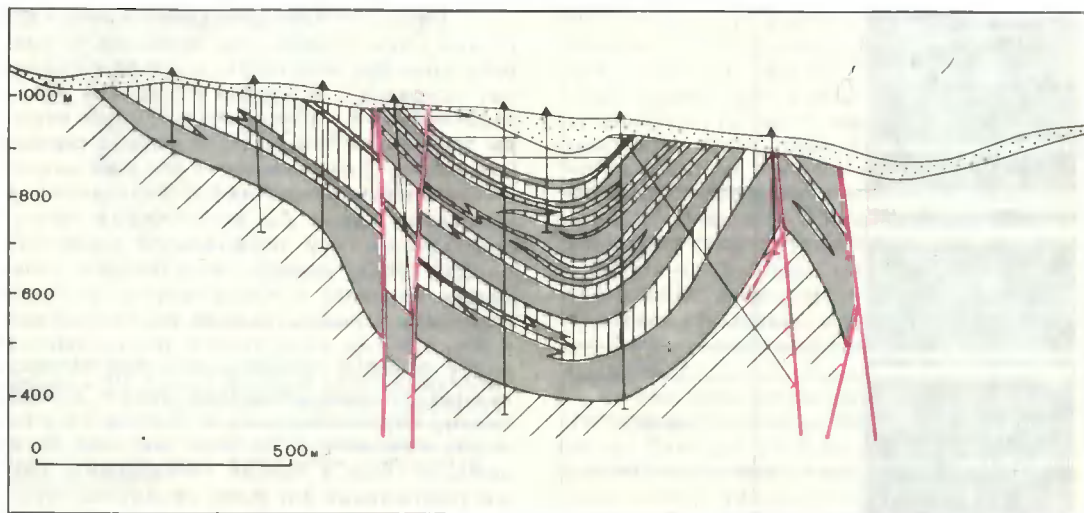
Чтобы ответить на этот вопрос, еще раз обратимся к современным бассейнам торфонакопления. Как показывают исследования современных торфяников, концентрация пласта в центральной части

² Лахар — грязевой поток, возникающий на склоне вулкана и несущий мелкие обломки и глыбы преимущественно вулканического происхождения.

месторождения и его расщепление в боковых частях могут быть обусловлены подводными течениями, столь обычными для топяных торфяников с незамкнутым гидрологическим режимом. Все поперечные неровности такого русла, и прежде всего его понижения, являются более активными аккумуляторами растительного материала, нежели остальные части подземной реки. Накопление растительного материала в таких условиях создает особую форму угольного пласта, называемую врезом.

Угольный пласт в таком случае располагается между двумя довольно круто залегающими боковыми пластами пород, упираясь в них.

Чтобы составить более полное представление об условиях образования пласта Хэт Крик, необходимо еще раз напомнить, что восточный склон Кордильер, где находятся Скалистые горы, в верхнем мезозое и на протяжении всего кайнозоя испытывал непрерывное восходящее движение. Свидетельство того — изменение со-



Геологический разрез месторождения Хэт Крик. Хорошо видно, что уголь 450-метрового пласта (Формация Хэт Крик) частично замещен породами.

Формация Хэт Крик:

Уголь

Глины, сланцы, конгломераты

Наносы

Формация Медисин Крик

Формация Колдуотер

Сбросы

Буровые сваины

державшейся в угленосной толще ископаемой флоры от субтропической влажной в нижней части угольного пласта до произрастающих в более сухих условиях массивных древесных пород в верхней части пласта.

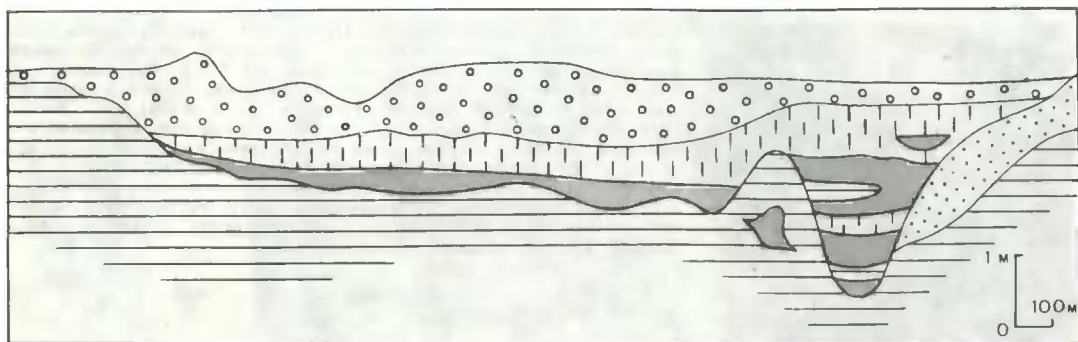
Как известно, обязательной предпосылкой образования торфяника любой мощности является сбалансированность скорости его роста со скоростью вертикального движения ложа торфяника или окружающего его берега. Для образования очень мощного торфяника, кроме того, должна быть сбалансирована удельная амплитуда роста поперечного поднятия. Иными словами, удельная величина роста торфяника Хэт Крик должна была уравновешиваться удельной амплитудой поднятия Скалистых гор. Только благодаря сочетанию всех этих условий образовался столь мощный угольный пласт.

Ни общее для региона повышение уровня, ни потепление или похолодание климата не сказались существенным об-

разом на условиях образования торфяника. Исследование сходных современных торфяников в бассейне р. Фрезер, протекающей вблизи месторождения Хэт Крик, показало, что приводимая нами аналогия между образованием этого месторождения и образованием современных торфяников остается справедливой даже при условии медленного поднятия Скалистых гор.

Чтобы убедиться в достоверности предложенной нами модели формирования гигантского пласта Хэт Крик, рассмот-

нен в нижней части до состояния землистого угля. Торф в этом и других молодых месторождениях представлен сфагновым и осоковым типами. Когда-то он заполнял проточное болото с образованием в нем врезов, как это хорошо видно на поперечном разрезе торфяника. Этот разрез полностью отвечает изложенной выше модели образования пласта Хэт Крик. Следовательно, можно говорить о достоверности нашей модели на протяжении очень длительного интервала времени: от средне-



Геологический разрез угольного месторождения Медоус (по М. В. Стяну и Р. М. Бастину, с упрощениями). Накопление торфяника в этом относительно молодом (около 2 млн лет) месторождении может служить прообразом формирования крупнейшего в мире угольного пласта Хэт Крик.



рим условия образования более молодых торфяников, существующих в южной части той же долины р. Фрезер³. Определенной радиоуглеродным методом возраст этих торфяников составляет 1,86 млн лет, а средний прирост торфяников за время их существования равен 140—145 см.

Наибольший интерес вызывает месторождение Медоус, торфяник которого имеет наибольшую мощность (до 2 м) и уплот-

го эоцена до плиоцена включительно. Напрашивается и еще один очень важный вывод: молодые торфяники в долине р. Фрезер можно рассматривать как зародыши будущих месторождений угля. Но вырастет ли здесь новый Голиаф? Повторятся ли те ритмически-безмятежные условия, что привели к образованию огромной угольной толщи? Или же здесь образуются пласты угля обычного масштаба? Ответить на эти вопросы никому не дано.

Остается лишь добавить, что рассмотренная модель образования угольных пластов в условиях поднятия угленосной толщи, а не обязательного, по традиционным представлениям, ее погружения, открывает новые перспективы поисков угля в зонах поднятий.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Залесский М. Д. ЕСТЕСТВЕННАЯ ИСТОРИЯ ОДНОГО УГЛЯ.— Труды Геологического комитета, новая серия. Пг, 1915.

Обручев В. А. ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ. М.: Наука, 1965.

Тюринев С. Н. ТОРФЯНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ИХ РАЗВЕДКА. М.: Госэнергониздат, 1949.

Варсонофьева В. А. ЖИЗНЬ ГОР. Серия «Среди природы», вып. 30. М.: Изд-во МОИП, 1950.

³ Styanc M. V., Bustin R. M.— Internat. J. of Coal Geology, 1983, v. 3, № 2, p. 101.

Погребальные обычаи, их смысл и происхождение

С. А. Токарев



Сергей Александрович Токарев (1899—1985), доктор исторических наук, заведовал сектором народов зарубежной Европы Института этнографии им. Н. Н. Миклухо-Маклая АН СССР. Занимался проблемами этнической истории, истории религий. Основные монографии: *Общественный строй якутов в XVII—XVIII вв.* Якутск, 1945; *Этнография народов СССР*. М., 1958; *Ранние формы религии и их развитие*. М., 1964 (издана также на польском и сербскохорватском языках); *История русской этнографии*. М., 1968; *Религия в истории народов мира*. М., 1975 (издана также на немецком, венгерском, испанском, румынском, словенском языках); *История зарубежной этнографии*. М., 1978; *Истоки этнографической науки*. М., 1978. Неоднократно печатался в «Природе».

В любом мало-мальски полном этнографическом описании, посвященном какому-нибудь народу, видное место, как правило, занимают описания погребальных обычаев. Под последними надо понимать, конечно, не только способы захоронения как такового (труположение, трупосожжение) и относящиеся к ним поверья, а и всевозможные представления о загробном мире, магические обряды и запреты, дары и жертвы, идеи метемпсихоза, обрядовое оплакивание, надгробные памятники, поминальные обычаи, траурную одежду и пр. и пр.

И не только в чисто описательном плане, но и в общеисторическом и теоретическом — факты и идеи, относящиеся к погребальному ритуалу, рассматриваются чаще всего как образцы ранних форм быта и культуры человека. Идет ли речь о ранних стадиях развития религии, мифологии, правовых понятий — необходимые иллюстрации подбираются, в числе прочих, и среди обычаев, связанных с погребальным ритуалом.

Дело доходит до того, что в этнографической и религиоведческой литературе понятия «культ умерших», «культ предков» нередко фигурируют почти как синонимы понятия «первобытная религия». Это можно сказать о таких авторах, как Э. Тайлор (в прежней русской транскрип-

ции — Тэйлор), Г. Спенсер, Ю. Липперт, Ш. Летурно, Н. Н. Харузин и многих других, работавших в так называемой эвгемеристской традиции (от имени Эвгемера, греческого писателя IV в. до н. э., считавшего имена богов именами бывших людей, царей и др.). Такая традиция одно время господствовала в науке, да и теперь находит себе сторонников.

Неудивительно, что при всякой попытке осмыслить погребальные обычаи, найти их общий корень и происхождение за основу неминуемо бралась их религиозная сторона — вера в загробную жизнь, в существование души человека после его смерти. «Общий обзор погребальных жертвоприношений на земном шаре, — писал классик эволюционистской этнографии Э. Тайлор, — ясно должен показать, что одна из наиболее обычных побудительных причин в этом случае есть более или менее определенное желание доставить удовольствие умершему. Такое желание порождается либо любовью к покойнику, либо боязнью прогневить его... Возможно, что обычай погребальных жертвоприношений, — продолжал он, — у человека основывался... на неясных понятиях и представлениях...»¹ Итак, погребальные обряды воз-

¹ См.: Тэйлор Э. Первобытная культура. М., 1939, с. 292—293.



Придорожный памятник погибшим вдали от дома. Северная Осетия, с. Ханаз.

ники как результат веры первобытного человека в загробную жизнь — к такой простейшей формуле чаще всего сводится решение всей проблемы в этнографической и религиоведческой литературе.

В археологии к этому прибавляется еще одна — частная — задача: связать погребальные памятники определенной территории с теми или иными этническими общностями. Формы неолитической керамики, ее детали, орнамент в погребальном инвентаре, украшения, оружие и т. п. рассматриваются как свидетельства особенностей быта и культуры населения, некогда здесь обитавшего.

И этот последний, частный, круг вопросов, и упомянутый выше более общий вполне законны при исследовании проблемы погребальных обычаев. Но решается ли этим путем вся проблема в целом?

Думается, что нет.

Можно выделить несколько типов человеческих отношений, складывавшихся в ходе исторического процесса. Они бывают групповые (массовые) и индивидуальные, если судить по количеству охватываемых особей, а также материальные (производственные, экономические) и духовные (ин-

теллектуальные, идеологические), если судить по виду деятельности. По отношению к жизненному процессу такие типы определяются как прошедшие, настоящие и будущие.

О прошедших, настоящих и будущих отношениях ученые-гуманитарии пишут много². Но, кажется, до сих пор еще не было прямой попытки соотнести их с основными разделами задач, изучаемых этнографической наукой. А такое соотнесение, как нам кажется, не представляет особых трудностей. Потребность же в нем назрела.

В системе понятий, определяющих общения людей, центральным должно быть понятие **поколения**. Основоположники марксизма придавали ему важное методологическое значение (о чем недавно — очень своевременно — напомнил И. С. Кон). «История есть не что иное, — говорится в «Немецкой идеологии», — как последовательная смена отдельных поколений, каждое из которых использует материалы,

² См. весьма содержательные, близкие по проблематике статьи: Бестужев-Лада Н. В. Развитие представлений о будущем: первые шаги. (Презентизм первобытного мышления). — Сов. этнография, 1968, № 5; с. 123; Файнберг Л. А. Представление о времени в первобытном обществе. — Там же, 1977, № 1, с. 128; Кон И. С. К проблеме возрастного символизма. — Там же, 1981, № 6, с. 98 и ряд других.



Склеп XIII в. Чечено-Ингушетия.

капиталы, производительные силы, переданные ему всеми предшествующими поколениями³. Понятие поколения в равной степени относится и к доклассовому, и к классовому обществу. Развивая его, И. С. Кон резюмирует выводы видных зарубежных социологов и историков. Он рассматривает различные оттенки понятия поколения в разных общественных формациях, а равно и на семейном уровне — так, как оно отразилось в современной социологической литературе⁴. Но и он не перебрасывает мостика между категорией поколения и сложной сферой погребальных обычаев. Между тем построить такой мостик не так трудно.

Временной континуум всякой социальной реальности естественно строится по трехчастной схеме: прошлое, настоящее, будущее. В рамках конкретной популяции такое деление может быть представлено тремя возрастными слоями: старшим (стариками), средним (рабочий возраст, взрослые) и младшим (дети, подростки). Нет нужды особо оговаривать, что границы

между этими возрастными слоями весьма условны. Но входит ли вся совокупность людей в перечисленные слои? Нет, не входит. Почему?

Потому что в них включены только живущие (в какой-то момент) люди, но не включены умершие (к определенному моменту); не включены также еще не родившиеся дети.

Между тем умершие (как и еще не родившиеся) члены социального коллектива существуют! Умершие существуют в памяти живых людей, в материальных продуктах и памятниках их труда и творчества, в их идеях, духовном наследстве и, наконец, в официальных документах и списках, в реестрах «мертвых душ».

Сторонники религиозного толкования погребальных обрядов считают образы предков чисто религиозными образами. Они во многом правы. Но этот религиозный компонент отнюдь не является обязательным; ведь даже в настоящее время ритуал погребения активных атеистов, свободомыслящих, порвавших с религией, по своей внешней форме не так уж сильно отличается от прежнего погребального обряда, хотя по самому содержанию своему — гражданская панихида и пр. — приткнут совершенно иным, нерелигиозным духом. Надгробные памятники, надмогильные надписи, цветы, венки и вся подобная символика пропитана лишь глубоким духом уважения к умершему, скорбью о потере дорогого и близкого человека — особенно если это касается видного общественного деятеля, носителя высоких идей. Веры в бессмертную душу и в загробный мир тут нет.

Социальное общение в той или иной форме происходит между всеми членами любой конкретной популяции, но не с одинаковой степенью интенсивности. Чаще всего оно происходит внутри того или иного возрастного слоя: взрослые со взрослыми, старики со стариками, дети с детьми. Это выражается также и в наличии специфических связей, присущих только внутрипоколенному общению: таковы детские группы (детсады и пр.), группы школьников, группы молодежи; для среднего возрастного слоя — союзы холостяков, брачные пары, клубы, трудовые коллективы; для группы старых — пенсионеры, инвалиды, античный «сенат». Все эти однородные по возрасту коллективы характеризуются большей или меньшей степенью открытости или замкнутости.

Специфическая форма социальной связи, которая сплавливает одновозрастных

³ Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 3, с. 44—45.

⁴ Кон И. С. Понятие поколения в современном обществоведении. — В кн.: Актуальные проблемы этнографии и современная буржуазная наука. Л., 1979.



Старое кладбище в Куй-Ургенче.

членов популяции (детей, брачные пары), может быть названа горизонтальной связью.

Но в каждом обществе наряду с горизонтальными связями существуют вертикальные. Это те отношения, которые стягивают группы (или особей) смежных поколений: например, связи родителей с детьми (парентальные связи), отношения работающих и инвалидов-пенсионеров. Вертикальные социальные связи могут быть гораздо слабее горизонтальных, но они непременно есть — иначе общество распалось бы на взаимно-замкнутые группы. И это одинаково верно как для доклассового, так и для классового общества.

В отличие от горизонтальной связи, которая принципиально — по возрасту — уравнивает своих членов, вертикальная связь строится по принципу резкого неравенства членов, причем возрастное неравенство окрашивается социальным. И это необратимо. Сын никогда не равен отцу, ученик учителю, старейшина рядовому общиннику. От каждого поколения тянется линия вверх, к старшему поколению (восходящая линия) и вниз (нисходящая линия). Расстояния между поколениями могут быть

большими (при патриархальном построении общества) или малозаметными (при эгалитарном строе), но принцип здесь один и тот же.

Иерархичность общества не только не исключает принципа взаимосвязанности его частей, но, напротив, именно при вертикальном его членении он становится особенно важным. Впрочем, в любом обществе, особенно в феодально-крепостническом, иерархичность налагает отпечаток и на его возрастную структуру.

При доклассовом — эгалитарном — общественном строе группы поколений могут служить основой общественной структуры, определяя, например, порядок заключения браков.

Что происходит в любой человеческой общине (для примера возьмем эту, наиболее архаичную, форму человеческих коллективов), когда погибает один из ее членов?

Она испытывает в той или иной степени потрясение или — шире — то или иное нарушение равновесия. И чем более социально ценным и полезным для общины был умерший, тем сильнее нарушено равновесие; если это был старейшина, предводитель, вождь, царь, жрец, может наступить социальный кризис, дезинтеграция.

Отсюда неминуемо, хотя бы неосознанно и стихийно, стремление к реинтеграции, к замещению умершего другим —

реально или хотя бы символически равноценным, похожим. Поэтому и возникают символические обряды, ритуалы, связанные с телом умершего, с его вещами, оружием, жилищем. В этом и нужно искать зародыш и первичный смысл погребальных обычаев⁵.

Посмотрим дальше. Люди могут умереть в любом возрасте, даже в детском. Но чаще все же умирают старики. Значит, и те символические действия, даже стихийно возникшие, направленные к реинтеграции, должны происходить чаще после смерти старейшины, вождя, царя, чем после смерти рядового и нестарого члена общины. К тому же это приобретало и более институциональный характер. Поскольку старейшина первоначально выполнял функции вождя, затем царя, то впоследствии такие ритуалы были обращены и на этих лиц, даже если они не были к тому времени стары. Так образуется социальная канва погребальных обычаев.

В советской науке о первобытной истории уже не раз высказывалась мысль, что одним из первичных корней, породивших обычаи погребать умерших, было полуинстинктивное чувство социальной связи: оно и побуждало наших древнейших предков зарывать своих покойников в землю, в жилой пещере или как-то иначе сохранять их тело; религиозно-магических представлений вначале не было⁶. Мысль эта, правильная в своей основе, нуждается в уточнении: понятие социальной связи слишком широко и общо. Но если верно все, что выше было сказано о поколениях как о первичной форме социального членения, то всюду, где речь идет о корнях погребальных обычаев, понятие «социальная связь» может быть вполне заменено термином «поколение». Таким образом, выводится формула: основа погребальных обычаев — это отношения между поколениями.

Чтобы лучше оттенить динамический характер этих отношений, можно сказать: погребальные обычаи выражают переход от одного поколения к другому — от старшего к среднему, которое замещает, как общее правило, старшее.

Всему сказанному, казалось бы, про-

тиворечит один хорошо известный факт: среди остатков нижне- и верхнепалеолитических захоронений встречаются скелеты и черепа молодых людей и детей (пещеры Тешик-Таш, Ментона, Грот детей и др.). Причем же здесь старшее поколение с его приоритетом в ряду умерших и похороненных?

Противоречие это, однако, мнимое. Оно не опровергает, а, напротив, подкрепляет наш тезис. Ведь отношения между поколениями — старшим, средним, младшим — далеко не просты. Они противостоят друг другу и по социальному статусу, и по выполняемым социальным функциям и ролям в производстве материальных средств существования, и по воспроизводству самого человека. В целом же все эти различия укладываются в трехчленную схему: старшее поколение, как нерабочий возраст, противостоит среднему возрасту, как рабочему, но объединяется с младшим, тоже нерабочим. Младшее поколение противостоит среднему и старшему, как небрачное брачному. Таким образом, если оставить в стороне индивидуальные отклонения, для людей среднего возраста, т. е. для полноценного актива всей популяции, старшее и младшее поколения — «не-наше» поколение. Отношения к ним — это отношения к «другому».

Такое сходство социального статуса и социальных функций вполне естественно отразилось на погребальном ритуале. Множество этнографических примеров подтверждает сходство погребений стариков и детей. Только, когда речь идет о захоронении детей, побудительным мотивом ритуала погребения является не почтение к влиятельному человеку, а материнская любовь и забота. Недаром все умершие «естественной» (ненасильственной) смертью назывались в русском народном языке, независимо от пола и возраста, «родителями»⁷.

А как же религиозные верования, связанные с погребальными обычаями? Им принадлежит видное место в погребальном ритуале, но не первичное, а производное. Поверья о душе и ее посмертной судьбе, о загробном мире, постепенное развитие этих представлений от элементарной и стихийной боязни «нечистого» покойника («живой мертвец») вплоть до идей о слиянии души человека с мировой душой — лишь субъективные формы метафизического осмысления объективного и реального факта,

⁵ Эту мысль удачно развил (на материале скандинавских погребений) в своей кандидатской диссертации «Погребальный культ языческой Скандинавии» (М., 1975) археолог В. Я. Петрухин.

⁶ См.: Токарев С. А. Ранние формы религии и их развитие. М., 1964, с. 163—167; История первобытного общества. Проблемы антропосоциогенеза. М., 1983, с. 386—388.

⁷ Зеленин Д. К. Очерки русской мифологии. Ч. I. Пг, 1916.

отражающего формы отношений между человеческими поколениями.

Особенно ярко выявляется связь погребальных обрядов с верованиями в тех обществах, где наиболее полно сохранился архаический общественный уклад, например у аборигенов Австралии. Лучший знаток их быта А. Элькин дает детальнейшее описание вариантов похоронного обряда, связанного с возрастно-половым членением и социальным статусом разных племен: как хоронили грудных детей, ребят постарше, «непосвященных» подростков, «полнопосвященных», мужчин, глубоких стариков и старух и др. При этом ритуал захоронения младенцев и престарелых был одинаково простым, в противоположность «мужам во цвете лет»⁸.

Религиозные представления больше, чем что-либо иное, служили стимулом для дальнейшего развития погребальной обрядности. Они приводили к тому, что многие поверья и сопутствующие им ритуалы принимали у многих народов жесткие, порой уродливые формы: изуверские самоистязания родственников умершего, самоуродование, тягостные запреты, суровый обет молчания, преувеличенные требования траура, касающиеся главным образом вдовы, индусские «сутти» (самосожжение вдовы на погребальном костре мужа) и пр. Мотивировали подобное тем, что этогоде требует ушедший в мир иной, иначе он разгневется.

Религиозный компонент, однако, отнюдь не обязателен в похоронном ритуале — особенно когда речь идет о патриархальном обществе. А в ходе общей секуляризации быта религиозные традиции все более отходят на задний план и под конец могут исчезнуть совсем.

Но такое сокращение религиозных элементов в погребальной обрядности отнюдь не ведет к обеднению самой обрядности. Она покоится, как мы уже знаем, на более прочной основе, на основе здоровой и неодолимой потребности в социальной интеграции (или реинтеграции), в закреплении связи между поколениями. Уточним этот тезис.

Речь идет о понимании корня (основы) погребальных обычаев. Именно об основе, а не об их содержании. Это содержание может быть крайне разнообразным, со временем оно могло далеко отойти от своей основы. Нетрудно показать, что какой-либо жертвенный похоронный обряд,

траурный знак или похоронный марш не имеет прямой связи с поколенной структурой общества: но последняя служит глубокой социальной основой всех и всяческих обычаев из области похоронных обычаев, без чего им нельзя дать полного и удовлетворительного объяснения.

Итак, повторим: погребальные обычаи суть форма общения между человеческими поколениями. Точнее, между живыми и мертвыми, между людьми (в большинстве случаев) старшего и среднего поколений. Однако единственная ли это форма связи между поколениями? Конечно, нет. Преобладающая ли это форма связи? Тоже нет. Ведь религиозные (мистические, воображаемые) связи существуют только для верующих, более того — для приверженцев какой-либо одной веры. Однако можно выделить по крайней мере еще две формы связи: культурную и генеалогическую. Из них первая играет огромную роль, и на ней основана, как указывал еще К. Маркс, в сущности вся традиционная культура человечества. Здесь действует жесткий закон отбора: далеко не все достижения прежних поколений вошли в культурный фонд мировой цивилизации. Что же касается генеалогических связей, т. е. родословных, то они сохраняются в наше время в очень немногих семьях, преимущественно в аристократических — там, где сохранилась аристократия. В основном люди знают имена своих предков до 5—7 поколения. Только кочевые народы нередко хранят в памяти 10—12 имен предков, с которыми у них связаны многие легенды.

От этих форм связи поколений погребальные обычаи отличаются тем, что они касаются всех без исключения. Они могут быть скромными или пышными, торжественными; но в той или иной мере все члены популяции (общины, семьи, народа) хотя бы несколько раз в жизни участвуют в погребальном ритуале. Разные формы связей поколений при этом не противопоставлены, а дополняют друг друга.

Все вышесказанное вызывает необходимость оценить традиционную погребальную обрядность с общесторонней точки зрения: здоровое ли это явление в жизни общества и в современном быту? Или это вредный пережиток прошлого? Бесспорно первое, ибо отражает уважение к памяти умершего. Почему ритуальная трапеза (поминки, тризна) устраивается в определенные сроки — на 40-й день, в годовщину, — это уже другой вопрос. Во всяком случае, участие в таких поминках не бросает ни малейшей тени на социальное поведение атеиста.

⁸ Элькин А. Коренное население Австралии. М., 1952, с. 237—243.

Новое имя в истории русской культуры

А. А. Турилов, А. В. Чернецов



Анатолий Аркадьевич Турилов, кандидат исторических наук, младший научный сотрудник Археографической комиссии АН СССР, ученый секретарь редколлегии Сводного каталога славянских рукописных книг, хранящихся в СССР. Занимается историей межславянских средневековых культурных связей и историей средневековой славянской рукописной книги. Участник первой советской экспедиции по изучению культурных сокровищ Афона (1983 г.).



Алексей Владимирович Чернецов, кандидат исторических наук, старший научный сотрудник Института археологии АН СССР. Круг научных интересов — прикладное искусство, миниатюры рукописных книг и нумизматика Древней Руси. Автор монографии: *Types of Russian coins of XIV—XV centuries. An iconographic study*. Oxford, 1983. В журнале «Природа» в соавторстве с В. П. Данильченко опубликовал статью: Реальные рыбы на Страшном суде (1976, № 3).

Человек, деятельности которого посвящена эта статья, живший в XVI в., во многом загадочен. О его существовании мы узнали лишь по беглым упоминаниям в трех рукописях. Однако само появление имени автора или составителя какой бы то ни было книги, пришедшей к нам из далекого прошлого, — факт для истории немаловажный. Дело в том, что древнерусская культура в большой степени была безымянной; можно даже сказать, что анонимность — один из признаков Средневековья как такового. Это относится и к такой области книжного искусства, как составление календарей. Сохранившиеся имена людей, занятых этим делом, вплоть до XVII в. единичны.

Кто же они — составители календа-

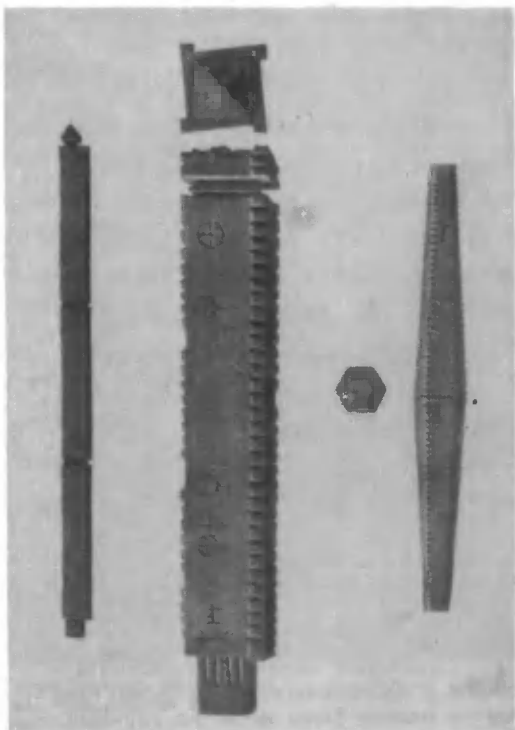
рей? Прежде всего это новгородец Кирик, занимавшийся календарными вычислениями еще в 1136 г. Позднее работы, связанные с календарно-астрономическими вычислениями, велись в середине XIV в. в окружении новгородского архиепископа Василия Калики (известного всем интересующимся средневековой отечественной культурой прежде всего как автора поэтической легенды о замном рае, якобы обнаруженном новгородскими мореплавателями в Северном Ледовитом океане¹). Ха-

¹ Голейзовский Н. К. «Послание о рае» и русско-византийские отношения в середине XIV в. — В кн.: Русско-балканские культурные связи през Средневековья. София, 1982, с. 42.

рактор этой работы по имеющимся источникам установить трудно — возможно, речь идет о простой переписке таблиц Великого круга (расчета дат на хронологическом отрезке в 532 года). Затем календарные расчеты были предприняты в конце XV в. в Новгороде и в Москве. Ими руководили новгородский архиепископ Геннадий и московский митрополит Зосима (впоследствии удалившийся со своего поста из-за обвинения в ереси). Проведению этих расчетов предшествовали события весьма драматические. В 1492 г. весь восточнохристианский мир напряженно ожидал конца света. 1 сентября этого года истекало семь тысяч лет «от сотворения мира» по византийскому летосчислению (принятому и на Руси). А так как, по средневековым убеждениям, «у бога один день как тысяча лет, и тысяча лет как один день», то семи библейским дням творения мира соответствовали семь тысяч лет его существования. В связи с этим дни празднования пасхи — главного христианского праздника — были вычислены только лишь до 1492 г. В пасхалиях XIV—XV вв. (справочниках, содержащих даты пасхи на определенный отрезок лет) под этим — 1492 — годом нередко писались слова: «Зде страх! Зде скорбы!»².

Но роковой год миновал, а Страшный суд не наступил. Пришлось срочно рассчитывать пасхалию на последующие годы, заодно проводя важнейшие астрономические наблюдения. При этом помощи было ждать неоткуда. С Константинополем в тот момент отношения были прочно испорчены — Русь уже полвека отказывалась признавать царьградского патриарха своим главой. К сожалению, работа над календарными таблицами, проводившаяся в то время, осталась анонимной, сохранились лишь имена церковных иерархов, номинально ее возглавлявших. Можно предполагать, что архиепископ Геннадий привлек к этой работе известного дипломата и переводчика Дмитрия Герасимова, от которого получил некоторые иноземные календарные тексты.

В середине XVI в. большой календарный текст был составлен по повелению митрополита Макария новгородским, позднее переехавшим в Москву, попом Агафоном (суффикс «ище» в подобном контексте в старину был признаком смирения). Еще один небольшой календарный текст, возможно, был составлен известным



Старинные северные деревянные календари XVII в. Некоторые из них имеют около полуметра длины. На ребре каждой из граней нарезаны зубцы по числу дней месяца. Глубокая выемка означала месяц. Условные метки — праздничные дни (елочки, квадраты, буквы и т. д.).

публицистом эпохи Ивана Грозного Еролаем-Еразмом³. Во всяком случае, это сочинение дважды переписано им самим в составе двух сборников, где все остальные произведения принадлежат ему как автору. Изобретение одной из разновидностей резного деревянного календаря, на котором отмечены основные церковные праздники, по преданию приписывается Стефану Пермскому — известному миссионеру XIV в., создателю письменности для народа коми. Такие календари представляли собой бруски-бирки, на которых зарубками разной длины отмечались дни, недели и месяцы, а знаками более сложной формы (крестами, звездами) — праздники⁴.

³ Повесть о Петре и Февронии. Подготовка текстов и исследование Р. П. Дмитриевой. Л., 1979, с. 116.

⁴ Общие сведения о древнерусском календаре см.: Зелинский А. Н. Конструктивные принципы древнерусского календаря. — В кн.: Контекст 1978. М., 1978. Истории математических знаний на Руси посвящена книга: Симонов Р. А. Математическая мысль в древней Руси. М., 1977.

² Древнейший русский список такой пасхалии, хранящийся в библиотеке Государственного историко-архитектурного музея-заповедника (№ 15231), датируется концом XIV — началом XV в.

Приглашение шашницъ инокреніе грѣшн на гдѣхъ ишанъ рѣш
 вѣчписаніе нѣкраице шода ишпроншій нрѣнгошншдъ ашрѣ
 Нѣмѣе вѣрѣшннѣа багодѣи дѣннѣи нѣмѣе шѣта нѣдѣа нѣшѣго
 нѣа дѣмѣа, іѣмѣе шѣмѣи зановѣданнѣа шнѣго нѣмѣе вѣстѣдѣ чѣшѣрѣ
 багѣвѣшннѣдѣа, нѣшѣапѣвѣтѣи сѣтѣи прѣпѣвѣдѣи, нѣшѣтѣи гѣпѣдѣ
 пѣсѣи, нѣмѣаа оамѣи рѣнѣаніѣа прѣдѣжнѣтѣ нѣмѣе: Пѣчѣжѣ,
 бѣгѣшннѣишн нѣмѣнѣннѣишн, іѣшаннѣи бѣгѣшннѣишн іѣуланнѣтѣишн прѣсѣра
 ннѣишн бѣрѣдѣтѣишн іѣнѣмѣишн шѣлѣишн гѣ нѣмѣе чѣшн дѣрѣзѣмѣнѣтѣишн,
 іѣкѣжѣ пѣзѣмѣаннѣе бѣрѣшн іѣурѣи іѣоаннѣи пѣшѣ гѣи рѣнѣаніѣи рѣдѣи
 пѣшѣго шѣлѣишн. Егѣдѣ іѣшѣрѣмѣишн іѣшаннѣишн пѣнѣлѣкнѣчѣмѣишн нѣшѣдѣ
 шнѣишн нѣшѣлѣишн пѣсѣишн прѣдѣлѣишн шѣрѣшнпѣишн гѣдѣи,
 мѣишн, пѣрѣпѣдѣишн снн пѣнѣдѣишн пѣнѣнѣаннѣишн шѣнѣишн пѣшѣрѣннѣишн

Лист рукописи из собрания В. А. Десницкого с упоминанием Ивана Рыкова и Ивана Грозного.

Оснований надеяться пополнить этот список у исследователей не было. Рассчитывать можно было лишь на случайность, на какой-то неожиданный источник. Именно так и был обнаружен неизвестный ранее псковский книжник XVI в. Иван Рыков.

Вначале его имя встретилось авторам в рукописной книге, датируемой рубежом XVII—XVIII вв. и содержащей объемистый текст гадательного содержания, основанный на астрологических суевериях⁵. Вступление к этому сочинению начиналось так: «Предисловие свяцам. Творение грешного раба Иоанна Рыкова. Список вкратце о году и о протчих пристоящих в нем. Тебе же, возлюбленне брате, кир Иоанне, пишу сие списание твоего ради словеси. Егда со царем Иоанном Васильевичем изыдох от нас и от наших псковских предел в царствующий град Москву, перевод сий понудихся написати о сих потребных ко твоему христоробию...»⁶

Это предисловие сразу же привлекло

внимание по целому ряду причин. Исследователи старинных рукописей придают исключительное значение каждому новому авторскому тексту, тем более если он содержит указание на время его создания. В данном же случае имя царя и упоминание об отъезде из Пскова свидетельствуют о том, что речь идет об эпохе Ивана Грозного и, скорее всего, о событиях, связанных с Ливонской войной, точнее — с 1579 г., когда царь спешно покинул свою ставку в Пскове, устрешенный стремительным натиском войск Стефана Батория (героическая оборона Пскова была еще впереди). Наличие имени русского автора в гадательном, т. е. запретном с церковной точки зрения, тексте — явление исключительно редкое, если не сказать уникальное (во всяком случае, в настоящее время второго примера такого рода мы привести не можем). В русских средневековых рукописях (в особенности XV—XVII вв.) такие тексты не редкость, иногда они переписывались даже рядом с запретами на их употребление; но они либо анонимны, либо их создание приписывалось библейским персонажам — Самуилу, Давиду, Соломону, либо античным философам, в основном — Аристотелю.

Но наиболее интересно то, что в древнерусской книжности известны очень сходные предисловия, но только без имени автора, и адресованные иному лицу, названному кир Софронием («кир» — от греческого «хир», господин, форма вежливого обращения к представителю церковной иерархии или к образованному человеку, что часто совпадало). Здесь также упоми-

⁵ Турилов А. А., Чернецов А. В. Иван Рыков — псковский книжник XVI в. — В сб.: Археология и история Пскова и псковской земли. Тезисы докладов научно-практической конференции. Псков, 1982; О нем же. Софроний, книжник Ивана Грозного, и адресованное ему сочинение. — В сб.: Археографический ежегодник за 1982 г. М., 1983.

⁶ Отдел рукописей Государственной библиотеки СССР им. В. И. Ленина (ОР ГБЛ), собр. В. А. Десницкого, картон 21, ед. хр. 3, л. 1.

нается отъезд из Пскова с царем (правда, имя царя не названо), что, несомненно, указывает на одно и то же событие. Однако в целом ряде рукописей за предисловием следует не гадательный текст, а календарные статьи вполне рационального содержания. Чем же объяснить сходство этих предисловий? Сразу же возникает подозрение, что оба сочинения составлены одним и тем же автором.

Это предположение так и осталось бы всего лишь гипотезой, если бы не обнаружилось еще две рукописи. В одной из них, относящейся к первой половине XVIII в., опять упоминается Иван Рыков. Здесь заглавие звучит так: «Предисловие старцом (так, по ошибке переписчика, святцы превратились в старцев.— А. Т. и. А. Ч.). Творение грешного раба Ивана Рыкова». Заглавие сходно с приведенным выше. Но далее следует текст не гадательного, а календарно-астрономического содержания: «О часах, како во дни и в нощи растут и отрастают»⁷. В этом небольшом произведении сообщаются данные о продолжительности дня и ночи в разных месяцах года (по два показателя на месяц). Таким образом, Иван Рыков действительно сам составлял не только гадательные тексты, но и календари.

В рассматриваемой рукописи также не упоминается никакого царя, ни отъезда из Пскова. Однако в конце одной из ее статей имеется фраза, делающая наши представления еще более обоснованными. «Писано во граде Пскове российских стран, в лето господне 1579»⁸. Итак, псковское происхождение Ивана Рыкова и связь его творений с 1579 г. подтверждается самым прямым указанием рукописи.

Вслед за этим свидетельством в рассматриваемой статье следует еще одно, связанное все с тем же Иваном Рыковым, — «Лунничек на 19 лет, сотворен вкратце грешным рабом Иваном Рыковым»⁹.

Окончательно поставить точки над *i* удалось благодаря другой рукописи второй половины XVII в. из собрания Центрального государственного архива древних актов (ЦГАДА). В ней тот самый обширный календарный текст, который открывается обращением к кир Софронию, оказался на



Иван Грозный. Парсуна XVII в. (возможно, сделанная с «портрета» XVI в.).

сей раз не анонимным, а авторским, причем автор не кто иной, как тот же Иван Рыков. Он озаглавлен «Предисловие святым. Творение грешного раба Ивана Рыкова. Списание вкратце о году и о протчих приносящих в нем. Российского царства цареву книжнику кир Софронию Постнику радоваться. Егда со царем отидеши от наших псковских придел...»¹⁰. Имя царя не названо и в этом случае, но мы уже точно знаем, что речь идет об Иване Грозном и событиях 1579 г.

Творение Ивана Рыкова в рукописи XVII в. содержит аллегорическую притчу «о царе-годе» (о ней подробнее ниже) и девять глав «о году солнечном», «о двенадцати зодиях», «о четырех временах года», «о солнечном стати», «о месяцах», «о каландах, нонах и идусах» (так именовались римские календы, иды и ноны), «о седмицы», «о дни» и «о часах». Последняя глава — тот же самый текст, который связывался с именем Ивана Рыкова в другой рукописи первой половины XVIII в.

⁷ ОР ГБЛ, собр. Е. В. Барсова, № 518, л. 1—2.

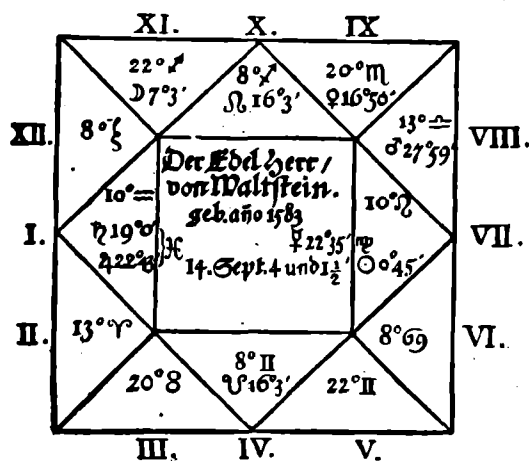
⁸ Там же, л. 1 об. (Напомним, что в 1700 г. Петром I была проведена реформа календаря: летосчисление стали вести не от «сотворения мира», а от «рождества Христова»). Этим и объясняется употребление в рукописи XVIII в. современной хронологии, хотя речь идет о событиях XVI в.)

⁹ Там же.

¹⁰ ЦГАДА, ф. 188 (Рукописное собрание ЦГАДА), оп. 1, № 632, л. 1.

Horoscopium gestellet durch Ioannem Kepllerum

1608.



Гороскоп, составленный в 1608 г. И. Кеплером для А. Валленштейна.

Предположительно можно приписать Рыкову еще одну небольшую статью, известную по рукописям XVIII в. Там она помещена непосредственно перед «Предисловием святым» с обращением к кир Софронию и обращена к иному адресату — «авво-освященному кир Алексею». Автор статьи, так же как и Рыков, называет календарь святыми, начиная ее втиеватори-торически. Статья представляет собой руководство для кровопусканий («...прочитаючи сия книги и хотяще любопытствовати и навикнути жилному стреканию и довлеет нам, да искусни будем врачествовати...»¹¹), причем для этого с помощью астрологических выкладок устанавливаются благоприятные дни. В тексте имеются ссылки на такие «авторитетные справочники», как Шестокрыл (астрологическое сочинение, переведенное с древнееврейского языка в конце XV в.) и Лунник («по русским Лунникам в весне велит кровь пущати»). Так что по тематике этот текст близок интересам Рыкова, к тому же составитель его смиренно называет себя «многогрешным Иваном». Данная статья, с точки зрения сов-

ременной медицины, к науке отношения не имеет, однако в XVI—XVII вв. подобные тексты широко использовались в практическом врачевании.

Что еще можно сказать об Иване Рыкове? Кроме того, что можно почерпнуть из трех рукописей, в которых упоминается его имя, пока ничего или почти ничего. Ясно одно, что это вполне реальное лицо, деятельность которого хорошо датирована. Фамилия Рыковых в Пскове во второй половине XVI в. была известна. Среди них один — поп, другие — богатые владельцы лавок и общественных бань. Из рассмотренных рукописей мы узнаем, что Иван Рыков возглавлял кружок псковских книжников — обращение к ним как к «чадам» указывает на его руководящую роль в этом кружке. Некоторые из этих «чад» занимали довольно высокое социальное положение. Так, Алексей, судя по форме обращения к нему («авво-освященный»), был, по всей вероятности, священником и игуменом (или архимандритом) одного из многочисленных псковских монастырей. Другой из «чад» (он же «брат») — кир Иоанн — назван в предисловии к гадательной книге «писарем градским». Видимо, за этим возвышенно книжным титулом скрывается вполне реальная и очень большая должность — дьяк, второе лицо в городской администрации после воеводы. В близкое от рассматриваемых событий время (в 1584—1585 гг.) псковским дьяком действительно был некий Иоанн — предположительно Иван Андреев (прямыми данными для 1579 г. мы не располагаем, но обычно в XVI в. дьяки занимали свою должность достаточно долго)¹². В 1579 г. Иван Рыков покидает свой город в свите Ивана Грозного и пишет календарное сочинение по поручению «российского царства царева книгчия» (возможно, библиотекаря знаменитой библиотеки этого царя).

К этому можно еще добавить, что в ряде списков «Предисловия...» автор назван «премудрым изографом», т. е. живописцем. Не исключено, что аллегорические миниатюры, украшающие многие списки «Предисловия...» XVII—XVIII вв., восходят к оригиналам, написанным самим Иваном Рыковым. Псков в XVI в. продолжал оставаться одним из крупнейших центров российской художественной культуры, недаром после московского пожара 1547 г. для работы по украшению кремлевских соборов приглашались и псковские живо-

¹¹ Отдел рукописей Государственного исторического музея, собр. А. И. Щукина, № 295, л. 294.

¹² Веселовский С. Б. Дьяки и подьячие XV—XVII вв. М., 1975, с. 23.

писцы. Занятия живописью и литературой в Средневековье (как, впрочем, и во все другие времена) отнюдь не исключали друг друга. Современник и земляк Ивана Рыкова, Василий, автор «Повести о приходе Стафана Батория на град Псков», тоже был иконописцем.

Итак, около 1579 г. Иван Рыков составил для царского окружения календарный трактат, а для земляков — крупнейшую в древнерусской письменности гадательную астрологическую книгу. Для нас такое сочетание рационального и иррационального в деятельности одного человека кажется странным, но в XVI—XVII вв. оно было обычным: И. Кاردано, Тихо Браге, И. Кеплер не только создавали современную науку, но и составляли гороскопы, а великий физик И. Ньютон сам себя в первую голову считал богословом.

В XVI в. многие из наиболее образованных людей считали астрологию весьма серьезным делом. Этому способствовала сложность математических вычислений при составлении гороскопов, требующая специальных познаний не только в математике, но и в астрономии, воспринимавшейся в то время в значительной степени как теоретический раздел астрологии. В XV—XVI вв. астрологические суеверия широко проникали на Русь. Известны многочисленные рукописи, содержащие переводные астрологические тексты. Знаем мы и о заезжих астрологах. Это и придворный врач отца Грозного, Василия III, Николай Немчин (Булев), и «лютый волхв» Елисей Бомелий, приближенный самого Ивана Васильевича. Но вот о русских астрологах-профессионалах до сих пор было неизвестно, между тем составитель крупного текста, пусть во многом компилятивного, конечно, не дилетант. Не были известны до последнего времени и русские авторские сочинения гадательного, т. е., повторим, запретного с церковной точки зрения, характера, что свидетельствует о неоднородности русской, как и вообще средневековой, культуры. Языческие, магические, «чернокнижные» и христианские ритуалы и церемонии переплетались, составляя довольно сложный комплекс взаимоотношений.

У Ивана Рыкова, таким образом, было довольно развитое авторское сознание. Хватало у него и смелости. Последние слова — не преувеличение, поскольку он откомментировал и пропагандировал астрологический трактат, осужденный православием и церковью еще в середине XVI в., на Стоглавом соборе 1551 г. Известно, что в XVII в. за одно только чтение этой



Древнерусский астроном (звездозаконник) в рукописи XVII в. Букварь Кириона Истомина к букве «зело». На странице нарисованы предметы, начинающиеся на эту букву: зенница, звезда, зелье и др.

книги человека отлучали от церкви и приговаривали к тяжелым исправительным работам. Причем сроки того и другого устанавливал сам патриарх. Зная это, нетрудно предположить меру наказания для комментатора и распространителя. Отвага Рыкова особенно хорошо проявляется на фоне судьбы его литературного наследия. До нас дошли многие десятки списков «Предисловия святым» XVII—XVIII вв. (вероятно, не меньше сотни), но, за исключением трех, они безымянны. Возможно, что имя Рыкова лучше было не упоминать. За компиляторство же его осуждать нельзя. Если, с точки зрения современных позиций, компиляция — свидетельство несамостоятельности мышления, то в Средние века она была одной из основ литературного творчества, свидетельством не только эрудиции автора, но его высшим достоинством.

Все же нам, людям XX в., было бы важнее оценить другую, рациональную сторону деятельности Рыкова. Но здесь есть ряд трудностей, окончательное преодоление которых разрешится не скоро. Календарное творение Рыкова — одно из многих сочинений подобного рода, в которых, как мы уже сказали, новое, оригинальное тонет в море уже известного. Это — как

канон в живописи. Главной заслугой мастера считалось не изменить этот канон, образец, а найти в нем свою «запятую», свое выражение — лица, складок одежды, напряженности мысли. Так и здесь: нужно долгое, кропотливое сличение подобных списков и манускриптов. Пока же четкой датировки различных версий сходных текстов, в основном сохранившихся в позднейших списках XVII в., нет.

Однако, безотносительно к степени новизны его сочинений, сам Рыков, несомненно, представлялся своим современникам специалистом высшей квалификации. Недаром он писал по заказу людей из ближайшего окружения царя. Область знаний, в которой работал Рыков, относилась к числу важнейших премудростей, известных русским книжникам того времени. Одной из самых сложных задач, стоявших перед ними, был расчет наперед дней празднования пасхи, что должно было удовлетворять целому ряду условий. Праздник, например, должен был падать на определенный отрезок времени в начале весны, непременно на воскресенье и не совпадать с пасхами других народов, определявшимися по лунному календарю. Эта и подобные задачи были не всякому под силу, и умение их разрешить составляло предмет восхищения современников и гордости самих знатоков календарных текстов.

«Аще который философ навикнет пасхалиям и рукам (особым таблицам в виде руки.— А. Т. и А. Ч.) и начнет хвалитися: «Уже несть противу мене за многи места иного мудреца» и ты рцы ему: «Аще горазд ели и философ пасхалиям, найди ми, философе... в кий день луна небесная настанет и в кий час. Найди ми, философе, рукою индиктовою, а другою лунную, в кий день месяц небесный настанет и в кий час... Аще сия вся разумеши, то полной еси философ пасхалиям и лунникам и рукам»¹³.

В прошлом веке о древнерусских календарных текстах обычно писали как о простых переводах с греческого. Однако на самом деле все значительно сложнее и интереснее. Расцвет русских календарных текстов приходится на время после падения Византии — на XVI—XVII вв. Греческие таблицы для расчетов имели цифровое обозначение, русские же — буквенное и содержат буквы «щ», «ъ» и др.,

отсутствующие в греческом алфавите, т. е. основаны именно на славянской грамоте. Для переводных текстов, учитывая общность греческой и славянской цифровых систем, такая замена была бы совершенно излишней. В конце XV в., когда нужно было продолжить пасхальные таблицы, доведенные только до 1492 г., за календарными рукописями из России отправились не в Грецию, а в Рим. Тогда же русские книжники пользовались и переводными календарно-астрономическими текстами восточного происхождения — арабскими и еврейскими¹⁴; в рукописях XVII в. упоминается «татарский лунник» и дальневосточный зодиак (циклические знаки)¹⁵. В конце XVI в. в Риме была проведена календарная реформа. На Руси на нее вскоре откликнулись полемической статьей, в которой не только принципиально отвергались подобные новшества, но и профессионально разбирались существо изменений (в этой статье мы не касаемся специального текстологического разбора этой полемики, поскольку нас интересует история самих рукописей). Разнообразные материалы, попадавшие на Русь, умело увязывались между собой (например, в рукописях XVII в. встречаются таблицы, на которых показано соотношение европейского и дальневосточного зодиака).

Встречаются в манускриптах и статьи, специально приспособленные к территории Руси, например «О русских часах, како бьют во всяком месяце в Новгороде Великом». Еще одна статья: «Указ книжным часам, во сколько часов обходит солнце над псковскою землею. Списано от сведущих людей»¹⁶, очевидно, отражает самостоятельные наблюдения или вычисления русских знатоков. Эта статья появляется в русских рукописях с середины XVI в., и весьма вероятно, что одним из ее составителей был Иван Рыков или какой-то его непосредственный предшественник.

Календарные познания не были в древней Руси исключительным достоянием одних только книжников. В конце XV в. тверской купец Афанасий Никитин наблюдал в Индии за звездным небом и отметил необычное положение некоторых созвездий. Русские мореходы и купцы того времени всегда ориентировались по звездам.

¹³ Государственная публичная библиотека им. М. Е. Салтыкова-Щедрина, О. XVII. 23, л. 63; там же, собрание П. Вяземского, О. 58, л. 139 об.

¹⁴ Рачева М.— Старобългаристика, V, 1983, № 3.

¹⁵ Ryan W. F.— Oxford slavonic papers. New series 4, 1971.

¹⁶ ОР ГБЛ, Рязанское собр., ф. 735, № 28, лл. 62—62 об.



Древнерусский зодиах середины XVI в.

Одним из важных показателей распространенности календарных знаний является наличие в языке специальной терминологии. О собственно славянских названиях небесных светил мы знаем довольно мало. Известны лишь названия наиболее популярных созвездий. Большая Медведица — Лось или Кола, Плеяды — Власожлей

или Стожары. Довольно много подобных данных можно найти у Ивана Рыкова. Ему, в частности, принадлежит попытка дать русские названия планетам. В его творении Марс (Арис) — это Вечерняя звезда, Меркурий (Ермис) — Царская звезда, Юпитер (Зевес) — Велико светлый круг, Венера (Афродита) — Светоносица или Утренняя звезда. Кроме того, он упоминает таинственную звезду Прикол, которая «с вечера идет перед звездами» (не исключено, что в данном случае мы имеем дело с одной из ошибок позднего переписчика — «перед звездами» вместо «серед звезд». В таком



Изображение планет в рукописи XVII в.: Луна, Солнце, Аврора (Венера), Зевес (Юпитер), Аррес (Марс), Ермис (Меркурий).

случае это Полярная звезда). Иногда попытки Рыкова перевести заимствованную терминологию разочаровывают читателя — «зодия Телец, а по-словенски месяц апрель» и т. п.

Кроме познавательного и практического значения русские календарные рукописи несли еще одну функцию — педагогическую, учебную. Она вполне отчетливо осознавалась русскими книжниками. Одна из статей, следующая в рукописи ЦГАДА за статьей Рыкова, озаглавлена «Учение отроком, хотящим учиться ведению ключа границы», т. е. умению пользоваться календарными таблицами. Таким образом, данный текст был адресован не только «философам», но и их юным учени-

кам. Далее, в той же статье ее составитель — для большей доступности своего труда — заимствует понятия, взятые из шахматной игры: «Во общие (обычные) лета ходи со угла на угл сверху книзу, якоже в шахматной игре пешки емлют или ферсию емлют и ферсию ходят, а в високостовые (написание более близкое к исходному латинскому «bissexthus», чем современное «високосный»). — А. Т. и А. Ч.) лета ходит... как в шахматной игре конми ходят»¹⁷. Как и в других странах, на Руси интересы к шахматной игре и цифирной премудрости шли рука об руку.

¹⁷ ЦГАДА, ф. 188, № 635, л. 22 об.

В своем творчестве Иван Рыков широко использовал иноземные сочинения или их переводы. При этом можно отметить не только влияние греческих и латинских первоисточников, обычных для древнерусской книжности, но и более экзотических. Во всяком случае, гадательные тексты приписываются им персидским и арабским мудрецам.

Рыков стремился не только к тому, чтобы его творения были насыщены информацией. Он, несомненно, старался также сделать их интересными. Поэтому, рассказывая о планетах и зодиакальных созвездиях, он заодно повествует и о древнегреческих богах и героях, в честь которых они названы. Приписав гадательные тексты персидским мудрецам, Рыков пользуется случаем рассказать о них такую, например, «детективную» историю.

У старейшины персидских мудрецов, по имени Июда, было двое детей: сын Хариз, «епископ градский», и дочь Амора, «зело красна», замужем за «строителем градским» Шмоилом. Еще один мудрец — Авенгасан — влюбился в Амору и, не в силах сдержать своей страсти, убил ее мужа. Хариз, мстя за смерть зятя, обманом убил Авенгасана. Амора в отместку отравила брата. Старый Июда, не в силах пережить гибели своих родных и вельмож, умерших «виною дочери его Амору», «пад и издше». Овдовевшая и осиротевшая красавица вышла замуж за Ептая (или Ектая), который «бе во граде от больших». В приданое Ептай получил составленные умершими мудрецами гадательные книги, которые он дополнил. Но недолго длилась спокойная жизнь. Ветреная Амора обратила свои взоры на Иваша — ученика своего мужа, который также работал над дополнением книг, и был не только «зело премудр», но и «зело леп и прекрасен». Несмотря на его сопротивление, Амора добилась своего, а когда муж застал их на ложе, зарезала Ептая ножом. Прихватив с собой золото и гадательные книги, любовники бежали в Эфиопию. Там по прошествии двух лет Иваш был убит громом. Вконец осиротевшая Амора отдала гадательные книги «рядникам (очевидно, правителям. — А. Т. и А. Ч.) арабским»¹⁸.

В составе сочинения псковского книжника есть и плоды его собственного литературного творчества. Это замысловатые аллегорические притчи о «царе-годе» и о «четырех временах года».

Первая из них по существу представляет собой загадку. «Царь некий быше зело славен и велик... служаху ему некия 4 цари, строители и правители... устави царь той 12 князя... епископом предаде великий царь той 365 мужей светлых и храбрых...» Так довольно прозрачно Иван Рыков зашифровывает год, четыре времени года, 12 месяцев, число дней в году и т. п. («Царь первый. Толк — год солнечный, 4 царя. Толк — 4 времени года. 12 князей. Толк — 12 месяцев. 52 епископа. Толк — 52 недели. 365 домочадцев. Толк — 365 дней»)¹⁹. В притче фигурируют и более сложные понятия — часы дневные и ночные, високосные дни, солнцестояния, год лунный.

Вторая притча включает довольно живые картины природы четырех времен года. «Весна подобна есть царю юну зело и оболочена в царьскую одежду и венец златый. Сядящу же ему на престоле обычен и нозе ж его наги едины бяху, не имущи ремень сапогу его. Имяше же в правой руке ключь висящ и светилник. Держашеся на нем две свечи, обе равны, обаче единая возжена, другая же не горит... Царь бо той весна и юность, первое время года. И... древа начинают листием одеватися, яко в одежда царская. И венец власти — ради времени прорастания цветов. И престол — солнцу течение в среднем круже зодейном. И ноги наги — яко не у еще всяко древо исполнився листием... Или в руке ключь висящ — яко во области времени ключь, отверзение водам и рыболовство. И светилник... и свечи — равноденствие тогда часом: огненную день разумеи, а другую — ночь...»²⁰ Оба эти отрывка, при всей их условности, насыщены сознательно использованными и своеобразно понятыми литературными красками, что позволяет говорить об Иване Рыкове как о мастере художественного слова.

Таким образом, деятельность Ивана Рыкова занимает достаточно определенное место в контексте русской культуры XVI в. В XVII в. его сочинения, в том числе прихотливые притчи, влились в состав крупнейших календарных компиляций — Миротворных кругов. Широта и своеобразие интересов этого книжника, понятая уже его современниками, свидетельствует о том, что это была фигура крупного масштаба.

¹⁹ ЦГАДА, ф. 188, № 632, л. 3.

²⁰ Там же, л. 7.

¹⁸ ОР ГБЛ, собр. В. А. Десницкого, картон 21, ед. хр. 3, л. 12 об., 14.

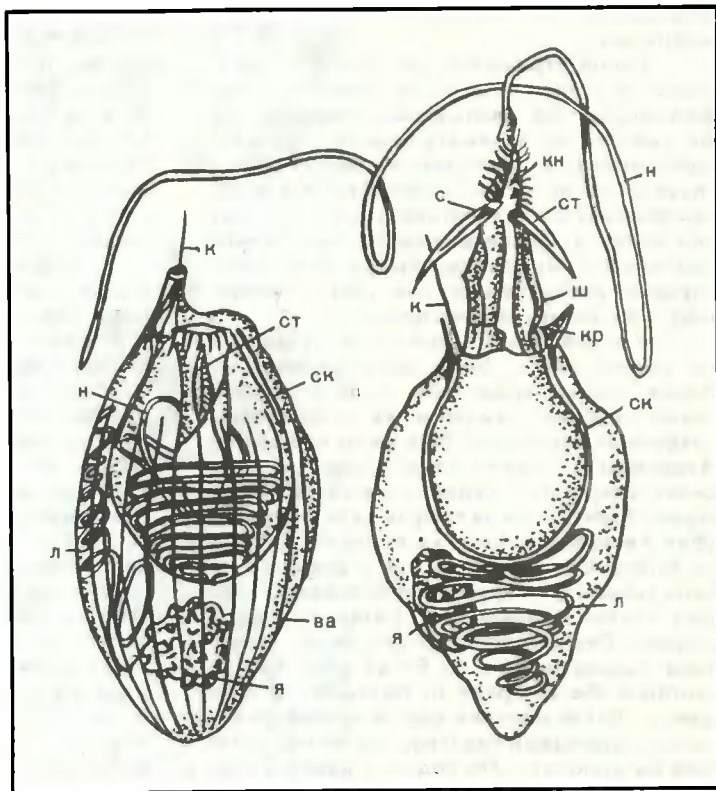
Биология

«Стреляющие» органы

К. Н. Несис,
кандидат биологических наук
Москва

Кишечнополостных животных называют еще стреляющими (Cnidaria), потому что для них чрезвычайно характерно наличие стреляющих клеток — главного оружия нападения и обороны. Строение стреляющих клеток можно рассмотреть на примере одного из самых обычных их типов — стеноцитов гидры. Главная составная часть стреляющей клетки (нематоцисты) — толстостенная овальная стрекательная капсула длиной около 20 мкм, заполненная ядовитой жидкостью. На верхнем конце капсулы расположена крышечка, затянута тонкой перепонкой. От крышечки внутрь капсулы вдаётся сложно устроенный отросток с тремя острыми зазубренными шипами — стилетами — и длинная свернутая в спираль нить. При соприкосновении с телом жертвы или врага капсула как бы «выстреливается», ее содержимое выворачивается, как палец перчатки, стилеты вонзаются в тело и раскрываются, разрывая края ранки, а смоченная ядовитой жидкостью нить глубоко проникает в ранку. Процесс «выстрела» и выворачивания содержимого нематоцисты известен давно, но детали и механизмы его не были изучены.

Т. Хольштейн из Мюнхенского университета (ФРГ) и П. Тардан из Цюрихского университета (Швейцария) изучали процесс «выстрела» стеноцитов гидры *Hydra attenuata* с помощью скоростной микро-



Стрекательная клетка до (слева) и после (справа) «выстрела» (ва — опорный волоконный аппарат клетки; к — чувствительная щетинка, киндоциль; кн — конус; л — «лассо», внутренняя свободная часть нити; ст — стилет; ск — стенка стрекательной капсулы; ш — шейка; я — ядро стрекательной клетки; кр — крышечка).

киносъемки¹. В природе клетка «выстреливает» при соприкосновении, скажем, с рачком. В экспериментах изолированные

клетки раздражали электрическим током. Кадры снимали с выдержкой 0,01 мс, между каждыми двумя кадрами делали перерыв на 0,015 мс.

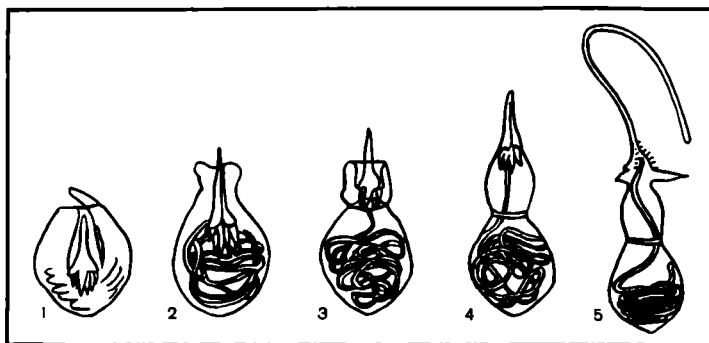
Процесс «выстреливания», состоящий из четырех фаз, длится около 3 мс, но основная часть завершается за 0,5 мс. На первой фазе (0,1—0,2 мс) капсула как бы вспухает, ее объем увеличивается на 10%. На второй — крышечка разрывается и стилеты, сложенные вместе (щепоткой), выставляются наружу на всю свою длину (20 мкм). Эта фаза протекает настолько быстро, что ее не удалось зафиксировать, во всяком случае, она короче 0,01 мс. Но даже если принять именно такую длительность, то оказыва-

¹ Holstein T., Tardant P. — Science, 1984, v. 223, p. 830.

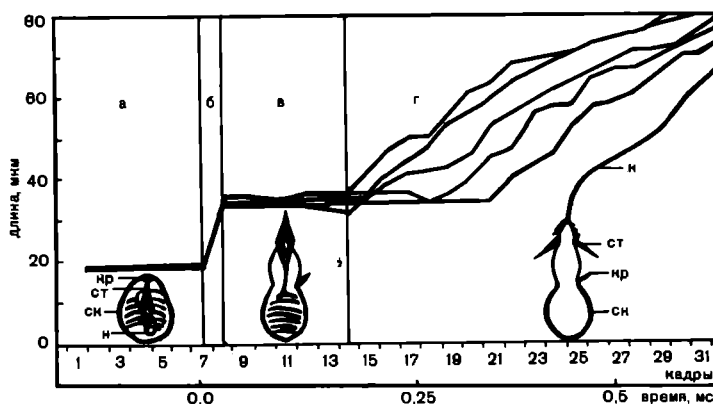
ется, что стилеты выдвигаются со скоростью 2 м/с. Объем капсулы в этот момент почти мгновенно уменьшается на 25 %, но ее длина и форма сохраняется. На третьей фазе (0,15 мс) стилеты раскрываются и расхо-

разбухание капсулы, осмотическая энергия запасается в эластичных компонентах стенки капсулы, а в момент, когда растущее напряжение в стенках превышает прочность крышечки, происходит «взрыв» и капсу-

замкнутая с обоих концов трубка длиной от 2—3 мм до 10—20 см. Сперматофор покрыт прочной двухслойной оболочкой, но в передней, слегка расширенной его части — головке — имеется «кошко», закрытое тонкой пе-



Процесс «выстрела» стрекательной капсулы: 1 — открытие крышечки, 2 — выход стилетов, 3—4 — выворачивание шейки и конуса, 5 — выворачивание нити.



Четыре фазы (а — г) «выстрела» стрекательной капсулы, восстановленные по наблюдениям за пятью капсулами [ломаные линии — изменения длины капсул по кадрам сверхскоростной киносъемки; нр — крышечка, н — нить, ск — стенка капсулы, ст — стилет].

дятся в стороны. Четвертая фаза — самая длительная: между основаниями стилетов выдвигается мягкая трубка с тремя рядами пластинок на наружной (во ввернутом состоянии — внутренней) стороне и из ее конца на всю длину выворачивается нить. Ее длина в среднем 470 мкм, толщина 0,8 мкм, выдвигается она со скоростью 0,3 м/с. Объем стрекательной капсулы медленно уменьшается еще на 25 %, достигая половины исходного, но форма капсулы остается по-прежнему неизменной.

Анализируя ход «выстреливания», авторы пришли к выводу, что движущая сила начальных стадий процесса — осмотическая. Давление вызывает

ла «выстреливает» стилеты. Дальнейшие фазы протекают при совместном действии еще продолжающейся осмотической реакции и высвобождающейся энергии эластичных стенок. Характер осмотической реакции неясен, но предполагается, что при раздражении нематоцисты в клеточной стенке открываются кальциевые каналы, ионы Ca^{2+} выходят из внутрикапсулярной жидкости наружу, а это приводит к повышению осмотического давления в нематоцисте.

Аналогичное, но в тысячу раз более крупное устройство — сперматофоры головоногих моллюсков, органы хранения спермы и передачи ее от самца к самке². Сперматофор кальмара или каракатицы — тонкая

репонкой. В головке помещается свернутая в клубок нить, постепенно расширяющаяся и переходящая в тугую свернутую цилиндрическую пружину. За пружиной следует специальное «цементное тельце» (передний, прилегающий к пружине конец которого часто снабжен пиковидным наконечником), а затем — длинный резервуар для спермы. Между задним концом семенного резервуара и задним концом сперматофора имеется некоторое пространство, заполненное раствором высокомоле-

² Marchand W. — Zoologica, 1913, Bd 26, Lfg. 1/3, S. 171; Austin C. R. et al. — Proc. Roy. Soc. London, 1964, v. B161, № 983, p. 143.

кулярных соединений, главное из которых — фосфогликопептид³. Сперматофор выходит из половых путей самца, и он с помощью особым образом видоизмененной конечности передает его самке. На пути от самца к самке сперматофор, естественно, попадает на некоторое время в морскую воду. Вода начинает проникать внутрь оболочки; осмотическое давление в сперматофоре увеличивается, вода продвигает семенной резервуар и цементное тельце вперед, сжимая пружину. Мембрана «окошка» разрывается, нить выбрасывается наружу и раскручивается, наконец, пружина преодолевает сопротивление и сперматофор «выстреливается»: пружина вылетает через отверстие (у некоторых кальмаров выворачивается наизнанку) и вытягивает за собой внутреннее содержимое. «На лету» она отделяется от цементного тельца и семенного резервуара, пико-видный наконечник вонзается в ткани самки в специальном, характерном для каждого вида месте, которое потом служит семеприемником, а липкое содержимое цементного тельца прочно прикрепляет семенной резервуар к телу самки. Пустая оболочка сперматофора отбрасывается (или самка проглатывает ее). Сперма в семеприемнике может храниться жизнеспособной до 3,5 мес. Процесс «выстрела» сперматофора — от момента его попадания в морскую воду до прикрепления пупырька со спермой к тканям самки — у кальмаров длится около секунды.

Подобные устройства есть и в мире растений: например, орган размножения хищного водного грибка *Nephtoglossa mirabilis*, питающегося коловратками. Основная его деталь — «выстреливающий» гарпун, который втыкается в тело жертвы, после чего в коловратку впрыскивается масса спор.

Задача таких органов одна и та же: как можно быстрее перенести некое содержи-

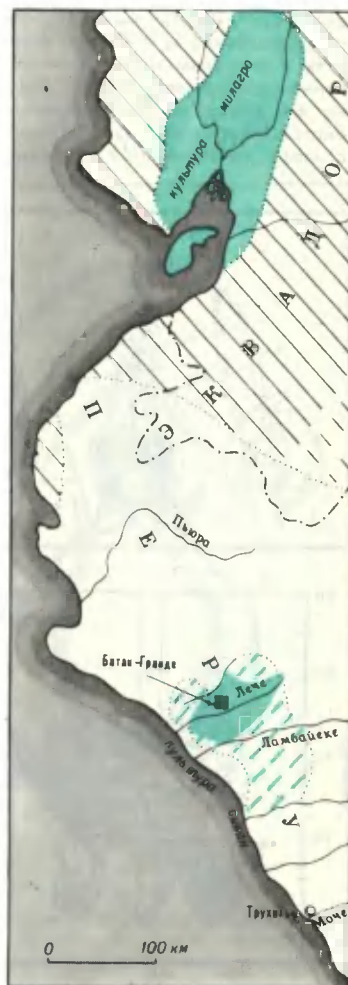
мое (яд стрекательной капсулы, сперматозоиды, споры) из одного места в другое и обеспечить прикрепление переносимого вещества к новому субстрату. Во всех этих случаях орган снабжен: прочной оболочкой, способной противостоять давлению изнутри, но имеющей «слабое место»; осмотическим механизмом засасывания воды; эластичной структурой, запасующей осмотическую энергию; выбрасывающим устройством, которое переносит содержимое и прикрепляет его к поверхности или внедряет внутрь нового субстрата. «Выстреливание» происходит в момент, когда возросшее давление внутри оболочки превосходит прочность «слабого участка». Энергия эластичных стенок мгновенно высвобождается. «Взрыв» такого стреляющего органа — один из самых быстрых процессов на макроскопическом уровне, известных в мире живых организмов.

Археология

Эль-Ниньо и его последствия для археологии Перу

Ю. Е. Березкин,
кандидат исторических наук
Ленинград

По заключению специалистов, Эль-Ниньо 1982-1983 гг. (аномальное потепление вод в экваториальной зоне Тихого океана¹) было самым разрушительным в истории Перу. Связанные с этим явлениями катастрофические ливни на берегу



Распространение медных топоров (единиц стоимости) в культурах Эквадора и Перу конца I тысячелетия н. э. (закрашены области массовых находок топоров в погребениях, заштрихованы места единичных находок).

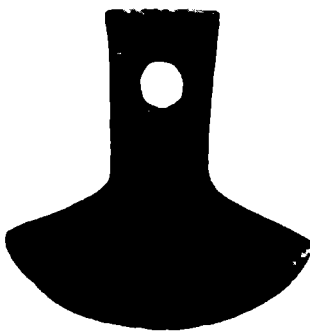
выводят из строя каналы, дороги, смывают дома и посевы. С наводнением, максимум которого пришелся на январь — май 1983 г., может соперничать, вероятно, лишь гигантское наводнение, произошедшее около 1100 г. н. э. (оно известно благодаря исследованиям археологов и отчасти — преданиям индейцев, записанным в

³ Brooks D. E. et al. — J. Reprod. Fertility, 1981, v. 63, № 2, p. 515; Mann T. et al. — Mar. Biol., 1981, v. 63, № 2, p. 121.

¹ Подробнее см.: Федоров К. Н. Этот капризный младенец — Эль-Ниньо! — Природа, 1984, № 8, с. 65; Willay: Newsletter of the Andean Anthropol. Res. Group, 1983, № 13, p. 13; 1983/1984, № 14/15, p. 9.

XVI в.)². От Эль-Ниньо 1983 г. наиболее пострадали земли на северо-западе Перу, между 3 и 11° ю. ш., лежащие ниже отметки 1200 м над ур. м. Убытки лишь вследствие сельскохозяйственных потерь превышают 700 млн. долл.

Невосполнимый урон нанесен археологическим памятникам. Построенные из кирпича-сырца, древнеперуанские пирамиды легко размываются дождями, а вышедшие из берегов реки и прорванные каналы уничтожают всякие следы человеческой деятельности на огромных площадях. Одним из крупнейших доиспанских центров Перу является район Батан-Гранде в долине р. Лече (750 км от Лимы)³. Здесь на площади 50 км² находится около двух десятков крупных пирамид и множество менее значительных объектов. Лишь некоторые из них были исследованы археологами в сколь-либо существенной мере. В 1983 г. из-за прорыва канала Тукуме на одну треть уничтожена знаменитая пирамида Ла-Мерсед; здесь в 1930 г. был случайно обнаружен крупнейший из найденных в Перу в XX в. (и попавших в поле зрения ученых) клад золотых и серебряных предметов, относящихся к цивилизации сикан, или ламбайеке (900—1100 гг. н. э.). Сильно разрушен храм Уака-Корте с раскопанной несколько лет назад колоннадой, а ряд других важных археологических объектов смыт до основания. Южнее Батан-Гранде серьезно пострадали всемирно известные памятники долины р. Моче (близ г. Трухильо): столица царства Чимор Чан-Чан с ее глиняными арабесками, украшавшими стены зданий; «Пирамида Солнца» — вероятно, главный храм культуры мочика периода ее расцвета (II—VI вв. н. э.); церемониальный центр Кабальо-Муэрто с остатками изобра-



Металлический топор, типичный для культур сикан и милагро (длина 12,5 см). Точное происхождение неизвестно. Государственный Эрмитаж.

жений божеств, созданных 3000 лет назад.

В то же время благодаря частичному смыслу памятников открылась редкая возможность наблюдать стратиграфию, не производя дорогостоящих раскопок. Археологам удалось, в частности, зарисовать полный профиль пирамиды Ла-Мерсед и прилегающих к ней строений общей длиной 600 м и максимальной высотой 15 м. В этом сооружении выявлены строительные периоды, относящиеся к культуре куписники (или близкой к ней) конца II — начала I тысячелетия до н. э., позднему этапу культуры мочика (VII в. н. э.) и культуре сикан (ламбайеке). По словам местных жителей, был момент, когда среди развалин обнажились стальные росписи, но вскоре все обрушилось в бушующий поток.

По мере естественного разрушения пирамиды в массиве кладки открывались многочисленные захоронения, инвентарь которых (фигурные сосуды, изделия из драгоценных металлов) местные крестьяне немедленно разбирали и продавали скупщикам древностей. Грабители, однако, оставляли на месте связи топоров из меди (возможно, мышьяковистой), считая их не имеющими рыночной стоимости. Первый значительный клад таких топоров (около 500 штук) на севере Перу был обнаружен

в Батан-Гранде 10 лет назад. Вещи, собранные теперь археологами в полуразрушенных погребениях Ла-Мерсед, существенно пополнили эту коллекцию. Стало ясно, что для создателей культуры сикан медные топоры соответствующего типа служили единицами обмена — примитивной формой денег.

Помимо Батан-Гранде, аналогичные топоры встречаются в Эквадоре (особенно на южном побережье страны) в погребениях, принадлежащих к одновременно с культурой сикан культурам милагро и, реже, более поздней мантеньо⁴. Среди топоров есть и тонкие пластинки массой чуть более 100 г, и гиганты до 20 кг, в равной мере не пригодные к практическому использованию и явно изготовлявшиеся как единицы стоимости. Судя по археологическим данным, торговые связи между Перу и прибрежным Эквадором были налажены уже тысячелетия назад (перуанцы ввозили, например, эквадорские раковины теплолюбивых моллюсков, которые использовали в ритуалах). Об организации этой торговли, ее масштабах и формах не известно, однако, почти ничего. Очень скудные сведения испанских документов касаются главным образом торговцев с юга Перу. Исследование комплектов медных топоров из погребений в Батан-Гранде (их комбинаций по весу, количеству, происхождению металла, из которого изделия отлиты) и сравнение с соответствующими сведениями окладах топоров культуры милагро даст в руки исследователей уникальную информацию об экономике Древнего Перу.

⁴ Holm O.— Folk, 1966/1967, v. 8/9, p. 136.

² Moseley M. E. et. al.— Ann. of Carnegie Museum, 1983, v. 52, art. 13, p. 304.

³ Березкин Ю. Е. Раскопки памятников древних цивилизаций на севере Перу.— Природа, 1983, № 3, с. 42.

Космические исследования

Спутниковая геодезия в Великобритании

Совместными усилиями Гринвичской обсерватории и Гульсского университета (Великобритания) создана сеть спутниковой геодезии. В нее входят одиннадцать спутников, снабженных соответствующим оборудованием и видимых с территории страны. Два из них, «LAGEOS» (орбита которого проходит на высоте около 6 тыс. км) и «Starlette» (высота орбиты менее 1 тыс. км) запущены НАСА США.

Принцип работы системы состоит в том, что на спутниках устанавливаются уголко-вые отражатели, которые принимают излучение наземного лазера и посылают его обратно. Время, затраченное световым лучом на путь туда и обратно, позволяет определить расстояние между земной поверхностью и спутником. При наличии двух лазерных станций можно очень точно определять расстояние между ними. При повторных измерениях можно, в частности, установить скорость и направление движения плит земной коры друг относительно друга.

Британские наземные станции способны измерять расстояние от Земли до какого-либо спутника, например «LAGEOS», с точностью 5 см. Лазеры, которыми они оснащены, работают на неодиме (длина волны 1,064 мкм).

Между сентябрем 1983 и октябрем 1984 г. британская система участвовала в международной программе MERIT (высокоточные измерения скорости вращения Земли). Были обнаружены вариации длительности суток — порядка миллисекунд. Оказалось, что эти вариации коррелируют с изменениями величины углового момента вращения земной атмосферы, ко-

торые вызываются, по-видимому, временным нарушением баланса между восточными и западными пассатами.

Помимо британских, в глобальной сети космической геодезии участвуют станции других западноевропейских стран, наблюдающих за движением земной коры в регионе Средиземного моря, а также станции проекта «Crustal Dynamics Project» («Проект изучения динамики коры») в США, расположенные как в Северной, так и в Южной Америке. Обсуждается участие в этой сети австралийских ученых, которые совместно с британскими должны проводить аналогичные измерения в Австралии, Антарктиде, Юго-Восточной Азии и Африке. *New Scientist*, 1985, v. 105, № 1400, p. 40 (Великобритания).

Астрономия

Проекты больших космических интерферометров

Разрешающая способность крупных наземных телескопов ограничена неспокойствием атмосферы и равна примерно 1", а у 2,4-метрового космического телескопа, который предполагают вывести на орбиту в 1986 г., она составит уже 0,1". Следующий шаг космической астрономии связан с созданием длиннобазовых оптических интерферометров с разрешением в тысячные доли секунды и более. Интерферометры могут работать и на Земле, но тогда их чувствительность значительно снижается из-за оптической нестабильности атмосферы. В космосе же можно будет наблюдать предельно слабые объекты.

Обсуждается несколько проектов. Предложено, например, расположить вплотную десять 2,4-метровых зеркал на

графито-эпоксидной ферме длиной 36 м и когерентно складывать собираемое ими излучение (проект COSMIC). Получится чрезвычайно «дальний» инструмент с большой приемной площадью и разрешением $3 \cdot 10^{-3}$ секунды дуги, особенно подходящий для изучения слабых объектов со сложной структурой. Чтобы восстановить двумерное изображение, ферма будет вращаться. В другом проекте предполагается собрать интерферометр на орбите из двух 18-метровых секций. Обсуждается, кроме того, и более дешевый прибор, представляющий собой пару небольших телескопов, перемещаемых по 50-метровой направляющей, которая в свою очередь будет смонтирована на космической платформе общего назначения.

Совсем не обязательно жестко связывать между собой телескопы, их можно установить на независимых космических аппаратах, а еще один аппарат будет служить приемной станцией, где и произойдет объединение и регистрация сигналов. Информация о расстоянии между космическими аппаратами будет поступать от лазерных дальномеров, а ориентация базы относительно наблюдаемого объекта может очень точно определяться по звездам. В проекте SAMSI предусматривается выведение трех аппаратов на идентичные низкие орбиты со слегка различными наклонениями, так что в течение витка база будет изменяться от 0 до 10 км. Такая система способна каждые 90 мин измерять диаметр объекта ярче 19-й звездной величины с разрешением 10^{-5} секунды дуги. Возможен и другой, более сложный режим работы, когда космические аппараты движутся по сложной траектории в пределах круга диаметром 100—500 м, осуществляя настоящий апертурный синтез. Тогда можно строить изображение объектов ярче 8-й звездной величины.

Космические интерферометры позволят изучать звезды в ближайших галактиках столь же детально, как сейчас в нашей. Появится возможность «заглянуть» в ядра активных галактик и квазаров, где выделяются огромные количества энергии, исследовать предельно удаленные галактики. Возрастет возможность измерения диаметров и масс звезд всех спектральных классов, можно будет получать изображения поверхности звезд-гигантов, потоков вещества в тесных двойных системах или протуберанцев на ближайших звездах.

Bulletin of the American Astronomical Society, 1984, v. 16, № 3, Pt. 2, p. 747—809; Sky and Telescope, 1984, v. 67, № 3, p. 205—209 (США).

Астрономия

Кольцо вокруг Нептуна!

Из четырех планет-гигантов Солнечной системы три — Юпитер, Сатурн и Уран — наверняка окружены кольцами. Недавно удалось обнаружить признаки кольца и у наиболее далекого гиганта — Нептуна.

Конечно, такого яркого и красивого кольца, как у Сатурна, нет ни у одной планеты Солнечной системы. Но за последние годы слабые, невидимые с Земли кольца были обнаружены вокруг Юпитера и Урана.

Наблюдения покрытия звезд Нептуном в 1968, 1981 и 1983 гг. дали некоторые указания на существование поглощающей материи вблизи планеты, но результаты были неубедительными. 22 июля 1984 г. Нептун проходил вблизи звезды SAO 186001; это событие наблюдала группа астрономов из Франции и США. Приборы, установленные в Южной европейской обсерватории (Чили), зарегистрировали в момент прохождения Нептуна небольшое уменьшение яркости звезды,

длившееся менее 2 с. Одновременно такое же событие зарегистрировали приборы, установленные в 95 км к югу в Межамериканской обсерватории Серро-Тололо (Чили). Судя по моменту и длительности затмения звезды, Нептун окружен кольцом шириной 10—20 км, расположенным в экваториальной плоскости планеты на расстоянии около 76 тыс. км от ее центра. Альтернативное предположение, что затмение было вызвано неизвестным спутником Нептуна, исключается по нескольким причинам. Во-первых, затмение было неполным, а значит, затмеваемое тело, скорее всего, не было сплошным. Во-вторых, имея малую длительность, затмение одновременно наблюдалось в двух разделенных почти на 100 км точках; если бы это была тень от спутника, то по форме он напоминал бы иглу. Тот факт, что наблюдалось только одно, а не два затмения, говорит о сложной форме кольца — оно либо не замкнутое, либо очень клочковатое.

Таким образом, аргументов в пользу существования кольца у Нептуна теперь накоплено немало. Последнее слово за «Вояджером-2», который в августе 1989 г. должен приблизиться к Нептуну.

Sky and Telescope, 1985, v. 69, № 4, p. 314—315 (США).

Физика

Измерены заряды кварков

В Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН, Женева) получены экспериментальные доказательства дробности электрических зарядов кварков. Эксперимент выполнен группой NA-14, куда входят ученые Великобритании, Греции, Польши и Франции.

Интенсивный пучок фотонов высокой энергии (50—150 ГэВ) направлялся на мишень из ^7Li . Физиков интересовали события, когда в конечном состоянии среди множества рожденных частиц присутствовал фотон с большим поперечным им-

пульсом. Такие события интерпретируются как отклонение фотона из первоначального пучка на большой угол из-за столкновения с кварком, входящим в состав одного из нуклонов ядра. Подобный эффект рассеяния фотонов на электронах, открытый в 1922 г. А. Комптоном, послужил в свое время убедительным доказательством, что свет состоит из квантовых частиц. Вероятность комптоновского рассеяния пропорциональна четвертой степени электрического заряда рассеивающей частицы. Поэтому изучение взаимодействия фотонов с ядрами (а по сути дела, изучение их столкновений с кварками) может дать информацию об электрических зарядах последних.

Согласно квантовой хромодинамике (КХД), кварки могут находиться в одном из трех цветовых состояний, причем электрический заряд кварка данного вида одинаков независимо от его цвета. Как известно, заряды кварков u и d , из которых состоят протон и нейтрон, равны соответственно $+2/3$ и $-1/3$. Но существует и другая модель сильных взаимодействий, не обладающая точной цветовой симметрией: в двух цветовых состояниях u -кварки имеют заряд $+1$, а в третьем они электрически нейтральны. Заряды d -кварка в трех цветовых состояниях равны $-1, 0, 0$.

Как видно, в такой модели кварки имеют целочисленные заряды. Можно ли установить на опыте, какая из этих моделей реализована в природе? Так как кварки прочно «заперты» в адронах, не удастся провести непосредственные эксперименты, подобные измерению Р. Миллером заряда электрона. Однако от электрических зарядов кварков зависят вероятности многих процессов взаимодействия элементарных частиц. Казалось, нетрудно отличить дробные заряды от целочисленных, но все оказалось не так просто.

Например, при взаимодействии электрона с кварком они обмениваются виртуальным фотоном, и вероятность процесса пропорциональна квадрату электрического заряда кварка. Но анализ, проведенный в 1982 г. А. В. Ефремовым с сотрудниками (Объединенный институт ядерных исследований, Дубна),

показал, что можно определить только средний заряд кварка по всем трем цветовым состояниям¹. В модели с целочисленными зарядами средний заряд кварков тот же, что и в КХД: $\langle e_u \rangle = (1 + 1 + 0)/3 = +2/3$ и $\langle e_d \rangle = (-1 + 0 + 0)/3 = -1/3$. Поэтому различие моделей в таких процессах не проявляется. По мнению авторов, отличить альтернативные варианты теории можно по процессам, где участвуют по крайней мере два реальных фотона, например, по комптоновскому рассеянию фотонов на кварках.

При рассеянии фотонов на ядрах ${}^6\text{Li}$ с одинаковым содержанием кварков u и d вероятность процесса рассеяния в модели с целочисленными зарядами в 2,65 раза больше, чем в КХД. Данные группы NA-14 согласуются с КХД и исключают альтернативную модель.

Итак, непосредственно экспериментально измерены заряды кварков, которые оказались дробными, что и предполагалось подавляющим большинством физиков.

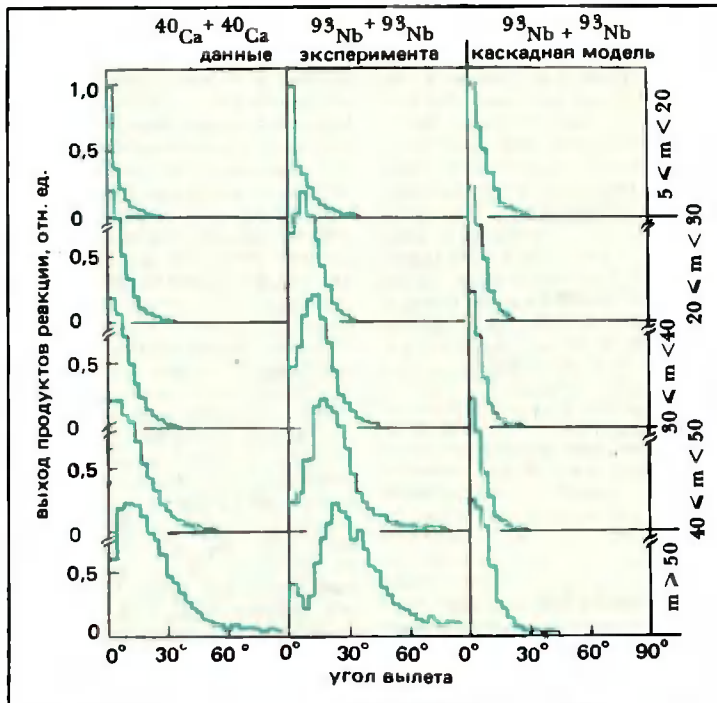
Препринт ЦЕРН EP/85-07. Женева, 1985 (Швейцария).

Физика

Сжимаемость ядерной материи

Известно, что возбужденное ядро сжимается и расширяется в небольших пределах около равновесного положения. Но оказалось, что во встречных столкновениях пучков тяжелых ионов ядерную материю можно сжимать до плотностей, в 3—4 раза превышающих ее нормальную плотность.

Эксперимент был проведен на ускорителе тяжелых ионов «Бэвалак» (Беркли, США). Работу возглавили А. Посканцер (A. Poskanzer; Лаборатория им. Лоуренса, Беркли, США) и



Распределения выхода продуктов реакций ${}^{40}\text{Ca} + {}^{40}\text{Ca}$ и ${}^{93}\text{Nb} + {}^{93}\text{Nb}$ в зависимости от угла их вылета относительно оси пучка и от числа образующихся частиц m . Результаты эксперимента (первые два столбца) сопоставлены с расчетами по каскадной модели (третий столбец). Видно, что при столкновении ядер Ca эффект сжатия ядер почти не проявился. Он стал заметен в столкновениях ${}^{93}\text{Nb} + {}^{93}\text{Nb}$ и отчетливо проявился в столкновениях с множественностью m , превышающей 50.

Х. Гутброд (H. Gutbrod; Лаборатория по исследованию тяжелых ионов, Дармштадт, ФРГ). Исследовались реакции ${}^{40}\text{Ca} + {}^{40}\text{Ca}$ и ${}^{93}\text{Nb} + {}^{93}\text{Nb}$ при энергии ускоренных ионов 400 МэВ/нуклон. Продукты реакции регистрировались при помощи комплекса уникальной измерительной аппаратуры, установленной на ускорителе «Бэвалак», — «Пластикового шара» и «Пластиковой стенки». Этот комплекс позволяет идентифицировать в продуктах реакций изотопы водорода, гелия, π^+ -мезоны, устанавливая направление их разлета в пределах телесного угла 4л, а также

измерять их энергию. Для каждой из исследуемых реакций было зарегистрировано приблизительно 50 тыс. событий.

Если ядро не способно к сильному сжатию, то продукты ядерных столкновений (согласно каскадной модели) будут распространяться в узком конусе вперед, вдоль пучка. Если же происходит сильное сжатие ядерной материи, то (согласно гидродинамической модели) за сжатием последует резкое расширение, сопровождающееся образованием выплесков в сторону. Эти сгустки ядерной материи направлены под большими углами к оси пучка — вплоть до 90°, причем, согласно теории, эффект будет наиболее ярко выражен для лобовых столкновений, когда число образующихся частиц m больше 50.

Теоретический анализ полученных экспериментальных данных был выполнен группой исследователей из ФРГ и США во главе с В. Грейнером (W. Greiner).

В целом полученные экспериментальные и теоретические данные интерпретируются как доказательство обнаружения сжимаемости ядерной ма-

¹ Ефремов А. В., Иванов С. В., Нестеренко В. А. Препринт ОИЯИ, Е2-82-433. Дубна, 1982; Ефремов А. В., Иванов С. В. — Ядерная физика, 1984, т. 40, с. 514.

терии до плотности, в несколько раз превышающей нормальную. Предполагается исследовать эффект для более тяжелых ядер; уже проведен эксперимент «золото-золотом»; результаты обрабатываются. Специалисты рассчитывают в экспериментах этого типа определить условия, при которых в ядре начнет устанавливаться новая форма существования материи — кварк-глюонная плазма.

Physical Review Letters, 1984, v. 52, № 18, p. 1590; Science, 1984, v. 224, № 4651, p. 857 (США).

Физика

Исследуются волоконные световоды с малыми потерями

В Институте общей физики АН СССР и Физическом институте им. П. Н. Лебедева АН СССР продолжаются исследования волоконных световодов — основных конкурентов медных проводов в линиях связи¹. В Институте общей физики разработаны поликристаллические световоды инфракрасного диапазона длин волн с малыми потерями. В качестве материала для их изготовления использованы галогениды теллура. Световоды допускают изгиб с радиусом менее 1 см. Средний размер зерна, от которого зависят потери на рассеяние и особенно — минимальный радиус изгиба, равен 3—30 мкм.

Оказалось, что оптические потери распределены по длине световода неоднородно. Причина их локального увеличения — участки с повышенным числом дефектов, образующиеся при экструзивном способе изготовления световодов. Минимальные потери были получены в световодах из стекла КРС-5: на длине волны 10,6 мкм они составили 0,35 дБ/км и были обусловлены в основном поглощением. Потери в световодах из

стекла КРС-6 на этой длине составляли 1 дБ/км.

Световоды испытывались на оптическую прочность относительно непрерывного излучения СО₂-лазера (длина волны 10,6 мкм). Разрушение световодов с диаметром 0,5 мм началось при мощности более 10 Вт (интенсивность свыше 4 кВт/см²) и связано в основном с дефектами на поверхности выходного торца, возникшими при обработке.

Группа исследователей из Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР исследовала потери и перекрестные помехи в так называемом двухканальном световоде с малыми потерями. Дело в том, что разработанные в последние годы световоды с малыми потерями уже позволяют создавать системы связи с расстоянием между ретрансляторами порядка 50 км. Однако дисперсионные свойства световодов (зависимость их характеристик от длины волны света) приводят к искажению передаваемого сигнала. Один из способов борьбы с этим — использование многоканальных световодов, в которых излучение с разной длиной волны распространяется по разным каналам (т. е. разнесено пространственно).

Исследовался двухканальный волоконный световод, полученный из кварцевого стекла, легированного двуокисью германия. Диаметр сердцевинки составлял 20 мкм, толщина кольцевого слоя — 10 мкм, расстояние между каналами — 20 мкм. Разности показателей преломления сердцевинки n_1 , кольцевого слоя n_2 и кварцевой оболочки n_3 были выбраны такими: $n_1 - n_3 = 0,028$, $n_2 - n_3 = 0,019$.

Один из основных параметров многоканальных световодов — уровень перекрестных помех, т. е. доля световой мощности, проникающей из одного канала в другой. Ослабление сигнала при переходе из одного канала в другой составило 35 дБ, причем оно не зависит от длины световода (в пределах 10—500 м), что также свидетельствует о малой электромагнитной связи между каналами.

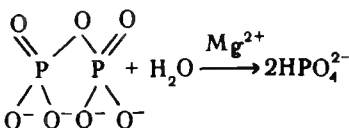
Квантовая электроника, 1984, т. 11, № 1, с. 5—6; с. 73—76.

Биохимия

Определена структура фермента

Сотрудники Института кристаллографии АН СССР совместно с коллегами из Университета имени А. Гумбольдта (Берлин), используя специальные методы получения кристаллов ферментов, построили полную атомную модель фермента — неорганической пирофосфатазы.

Неорганическая пирофосфатаза, получившая свое название в «наследство» от субстрата — неорганического пирофосфата, катализирует реакцию расщепления богатой энергией (макроэргической) связи кислорода с фосфором в неорганическом пирофосфате:



Эта реакция универсальна для всех живых организмов. Гидролиз пирофосфата, образующегося во многих обменных процессах в клетке, сдвигает в сторону синтеза общую систему последовательных реакций, которые приводят к образованию белков, полисахаридов, нуклеиновых кислот — всех биологически важных соединений. Пирофосфатаза проявляет ферментативную активность только в присутствии некоторых ионов двухвалентных металлов (в клетке фермент активируется ионами магния). Сравнительно недавно советские ученые (Н. Б. Бакулева, Т. И. Назарова и др.) открыли еще одну особенность пирофосфатазы¹. Оказалось, что в определенных условиях даже в отсутствие внешнего источника энергии она катализирует синтез макроэргической пирофосфатной связи. Это означает, что изображенная выше реакция может быть обратимой.

Неудивительно, что перечисленные особенности привлекают внимание многих исследователей к изучению пирофос-

¹ Полковников Б. Ф. Волоконные световоды с малыми потерями. — Природа, 1978, № 1, с. 116.

¹ FEBS Letters, 1981, v. 124, № 2, p. 245.

фатаз. Установлена молекулярная масса неорганической пироглутамата дрожжей, показано, что ее молекула представляет собой димер, состоящий из двух одинаковых субъединиц. И несмотря на то что найдена последовательность аминокислотных остатков, составляющих полипептидную цепь пироглутамата, ее пространственная структура, так же как структура других ферментов фосфорного обмена, до сих пор не была определена с достаточной точностью. В этой связи совместная работа исследователей из СССР и ГДР, построивших модель молекулы фермента с разрешением 3 Å, представляет особый интерес.

Биоорганическая химия, 1984, т. 10, № 11, с. 1469—1482.

Биохимия

Влияние липидов на опухоли

В исследованиях последних лет было показано, что липиды участвуют во взаимодействии клеток иммунной системы как между собой, так и с другими клетками. Удалось обнаружить также связь с липидами некоторых лимфоцитов — веществ, вырабатываемых лимфоцитами и играющих важную роль в иммунных реакциях. Под влиянием некоторых липидов *in vitro* наблюдали реакцию бласттрансформации и усиление деления лимфоцитов. При этом образовывались нормальные и поливалентные киллеры — клетки Т-лимфоцитов, способные убивать клетки опухолей¹.

¹ Т-лимфоциты отвечают за клеточный иммунитет и делятся на Т-эффекторы, Т-хелперы (помощники) и Т-супрессоры. Т-хеллеры происходят из Т-эффекторов под влиянием антигенной стимуляции. Т-амплифайеры (или Т-усилители) представляют собой предшественников Т-хеллеров; они усиливают функции Т-эффекторов, Т-супрессоров и других клеток.

Б. Б. Фукс и А. Г. Стерлина (Институт морфологии человека АМН СССР) установили, что такими свойствами обладают ганглиозиды — природные органические соединения группы сложных липидов, а также яичный лецитин — вещество группы сложных липидов. Особенно выражено стимулировали образование поливалентных киллеров полисialogанглиозиды, что доказывает важную роль в этом процессе входящих в их состав сиаловых кислот. Подобную же активность проявляют и липиды, в состав которых входит пальмитиновая кислота и некоторые ненасыщенные жирные кислоты.

По мнению авторов, эти вещества выполняют роль пускового механизма иммунных реакций в периферических органах иммунной системы. Для проверки этой гипотезы мышам, имевшим перевиваемые опухоли (асцитные опухоли и карциномы Эрлиха), ввели полисialogанглиозиды и фосфолипиды. В первой серии опытов у 42 мышей с умеренными по размеру подкожными опухолями введение липидных препаратов привело к полной и необратимой регрессии новообразований; наблюдения за животными велись в течение года. 88 контрольных животных, не получавших липиды, погибли от действия опухолей в короткие сроки.

В меньшей мере полисialogанглиозиды и лецитин воздействовали на животных, имевших опухоли больших размеров. Тем не менее в другой серии опытов на мышах с опухолями больших размеров (саркома мышей МХ-II) сочетание предварительного введения циклофосфана (средства, используемого для лечения опухолей) с последующим введением липидов позволило у части животных добиться полного исчезновения и этих опухолей.

Авторы установили, что введение определенных гликолипидов и фосфолипидов приводит к активации амплифайеров (Т-усилителей) и образованию поливалентных киллеров с их последующей атакой на опухолевые клетки.

Доклады АН СССР, 1984, т. 279, № 5, с. 1261—1264.

Иммунология

Поиски вариантов холерной вакцины

Исследования последних 15—20 лет позволили выявить весьма важные особенности характера иммунитета к холере. Оказалось, что для защиты организма следует создать невосприимчивость к ней главным образом в области тонкого кишечника: именно здесь находится «поле деятельности» холерного вибриона, который не проникает внутрь клеток, а прикрепляется к их поверхности. Что касается иммунитета, который вырабатывается у людей, переболевших холерой, то он направлен как против самой бактериальной клетки, так и против вырабатываемого ею токсина.

Удалось установить, что холерный токсин — главное действующее патогенное начало при холере — состоит из полипептидных цепей А и В. Симптом заболевания вызывает цепь А, но для проявления ее действия необходимо, чтобы молекула токсина прикрепилась к соответствующим рецепторам поверхности клеток, выстилающих стенки тонкого кишечника. Эту функцию выполняет цепь В. Полученные данные заставили во многом пересмотреть принципы вакцинации против холеры.

Недавно сотрудники Интернационального центра изучения желудочно-кишечных заболеваний (Бангладеш), Отделения медицинской микробиологии Гетеборгского университета (Швеция) и Отделения географической медицины университета им. Дж. Гопкинса (США) под общим руководством профессора А. М. Свеннерхольма (А. М. Svennerholm) исследовали в Бангладеш на добровольцах созданную ими вакцину. Препарат содержал высокоочищенные субъединицы холерного токсина, состоявшие из цепи В, а также липополисахариды основных серологических вариантов холерных вибрионов (Иниба и Огава), полученные из клеток соответствующих штам-

мов возбудителей холеры. (Как известно, липополисахариды содержат основные антигенные детерминанты, вызывающие образование специфических антител, которые нейтрализуют холерные вибрионы.) Необходимо также отметить, что новая вакцина вводилась не подкожно, как обычно, а в рот.

Исследования показали, что уже одна доза вакцины вызвала появление антитоксических антител в виде иммуноглобулинов IgA, которые были обнаружены в тканевой жидкости, омывающей внутренние стенки кишечника, у 7 из 8 добровольцев. Такой иммунный ответ очень похож на тот, что наблюдается при выздоровлении от холеры.

Две дозы вакцины стимулировали появление специфических антител и к липополисахаридам вибрионов, что также сравнимо с данными, получаемыми при заболевании холерой. Оказалось также, что иммунный ответ при введении вакцины в рот был значительно сильнее, чем при обычном способе ее введения.

Journal of Infection Diseases, 1984, v. 149, p. 884—893 (США).

Медицина

Моноклональные антитела в диагностике инфаркта и опухолей

Чрезвычайно важно своевременно распознать нарушения сердечной деятельности, и в частности инфаркта миокарда. Чем раньше поставлен диагноз, тем больше шансов на успех лечения таких заболеваний.

Недавно в США разработан новый метод получения изображений ряда патологических процессов, лежащих в основе различных заболеваний, и в их числе — инфарктов миокарда. Исследователи под руководством Х. К. Голда (Н. К. Gold; Гарвардская школа медицины и Главный Массачусетский госпиталь, США) предложили использовать для

этой цели моноклональные антитела, меченные радиоизотопами. В качестве антигена для производства первой серии моноклональных антител использован миозин — белок, входящий в состав сердечной мышцы. При повреждениях мышцы, чаще всего возникающих при инфарктах, миозин полностью или частично выходит из мышечных клеток на поверхность, что и позволяет его обнаружить с помощью моноклональных антител.

Антитела, меченные радиоактивным изотопом индия, вводят больному через 6 часов после начала сердечного приступа. С помощью гамма-счетчика на экране можно увидеть контуры поврежденной области сердца, обозначенные связавшимися с миозином мечеными моноклональными антителами. При этом можно отличить тяжело поврежденные, но еще живые клетки, от мертвых. Обследование таким путем 60 больных позволило во многих случаях поставить более точный и быстрый диагноз, чем при использовании обычных способов.

С помощью антител был проведен также посмертный анализ у группы лиц, страдавших при жизни сердечными заболеваниями, однако точно не диагностированными даже после патологоанатомического обследования. С помощью меченых моноклональных антител в 10 % случаев было обнаружено наличие инфаркта миокарда.

Новый метод перспективен для более ранней и точной диагностики и других заболеваний, в частности онкологических. Получены меченые моноклональные антитела для диагностики рака прямой кишки и яичников; эти антитела способны распознавать специфические белки, находящиеся на поверхности опухолевых клеток. Уже удалось обнаружить и точно локализовать метастазы при раке яичников задолго до появле-

ния заметных клинических симптомов.

В 1985 г. предполагается испытание этого метода в клиниках ряда европейских стран.

Hybridoma, 1984, v. 3, № 1, p. 11—23 (США).

Медицина

Биогликианы повышают активность макрофагов

В борьбе организма с инфекциями, вызванными внутриклеточными паразитами, ведущая роль принадлежит макрофагам: они поглощают возбудителей (процесс называют фагоцитозом) и тем препятствуют их распространению в организме человека и животных. Но среди возбудителей имеются такие, для которых сами макрофаги являются местом преимущественного размножения и сохранения. К таким внутриклеточным паразитам относятся сальмонеллы и иерсинии. Чтобы бороться с ними, важно знать, как можно усилить фагоцитарную активность макрофагов и предотвратить размножение паразитирующих в них организмов.

Группа ученых из Научно-исследовательского института эпидемиологии и микробиологии СО АМН СССР, Тихоокеанского института биоорганической химии ДВНЦ АН СССР и Всесоюзного научно-исследовательского института антибиотиков изучила действие биогликанов¹, выделенных из морских организмов, на поглощательную способность и бактерицидную функцию макрофагов по отношению к *Salmonella typhimurium* и *Yersinia pseudotuberculosis*.

Подопытным животным (морским свинкам и мышам) вводили препараты биогликанов за сутки до заражения возбудителями псевдотуберкулеза и сальмонеллеза. Уже через 2 ч число макрофагов увеличилось, усиливалась их способ-

¹ Подробнее о моноклональных антителах см., напр.: Мечетнер Е. Б., Червонский А. В. Метод гибридом и его возможности. — Природа, 1984, № 9, с. 80.

¹ Биогликианы — соединения полисахаридной природы, обладающие иммуностимулирующими свойствами.

ность поглощать микроорганизмы. По прошествии 7 ч после заражения иерсиний, расположенных вне макрофагов, уже не было, в то время как в контрольной группе животных они исчезали только через сутки. В опытах на культуре макрофагов (их выделяли из крови свинков, которым вводили биогликианы) проявлялся тот же эффект: через 3 ч после заражения макрофагов они успевали освободиться от груза микроорганизмов, причем сами оставались неизмененными. В контрольных препаратах фагоцитоз за это время не завершался; более того, число живых микроорганизмов в макрофагах постепенно увеличивалось, и через 9—12 ч бактерии начали разрушать макрофаги. Через 15 ч макрофаги исчезли совсем.

Исследователи полагают, что активация макрофагов биогликами может идти несколькими путями, но пока воздерживаются определить механизм действия препаратов. Этому будут посвящены дальнейшие исследования. А зная механизм активации, можно найти способ, с помощью которого восстанавливались бы функции макрофагов, ставших дефектными в результате заражения внутриклеточными паразитами.

Антибиотики, 1984, т. XXIX, № 9, с. 653—657.

Медицина

Аспирин и инфаркт миокарда

В последнее время широко исследуются возможности предотвращения инфаркта миокарда с помощью различных лекарственных веществ, воздействующих на тромбоциты — клетки крови, играющие важную роль в образовании и развитии тромбов. Связано это с тем, что у большинства больных с развившимся инфарктом миокарда обнаруживается тромбоз коронарных артерий.

В числе таких лекарств, снижающих вероятность образования тромбов, оказался аспирин. Было установлено, что он

угнетает функции тромбоцитов, нарушает синтез ими тромбоксана A_2 , который является одним из «виновников» образования тромба, вызывая агрегацию тромбоцитов и сосудистый спазм. (Заметим, что еще до открытия этого механизма действия аспирина делались попытки предотвратить развитие миокарда у больных ишемической болезнью сердца с его помощью.) Однако шесть крупных широкомасштабных исследований, проведенных в США и Западной Европе с 1974 по 1980 г., не подтвердили эффективности аспирина в предупреждении повторного инфаркта миокарда.

В 1983 г. закончилось новое, седьмое, исследование, проведенное группой ученых из США, давшее положительный результат. Была взята группа больных (1266 человек) с нестабильной стенокардией — состоянием, характеризующимся высоким вероятностью инфаркта миокарда. Половине пациентов (625 человек) был назначен аспирин; другая половина (641) получала имитацию лекарства. На протяжении 12 недель случаи инфаркта миокарда отмечались в обеих группах, но частота заболевания была вдвое ниже у лиц, принимавших аспирин (21 человек; 3,4 %), по сравнению с контрольной группой (45 человек; 6,9 %).

Таким образом, аспирин защищает больных с нестабильной стенокардией от развития инфаркта миокарда. Тем не менее при использовании его у различных групп больных с ишемической болезнью сердца остается много неясного; не решен, например, вопрос об оптимальной дозе препарата¹. Изучаются лекарственные средства с более избирательным действием на функции тромбоцитов. Новые исследования, возможно, дадут окончательный ответ о целесообразности применения аспирина для этих целей.

¹ Более того, передозировка аспирина опасна: в больших дозах этот препарат угнетает синтез простаглинды в сосудистой стенке, что способствует агрегации тромбоцитов и спазму сосудов. (Прим. ред.)

Следует, правда, напомнить, что, по имеющимся к настоящему времени данным, отказ от курения, соблюдение рациональной диеты и регулярные физические тренировки более эффективны в предупреждении инфаркта миокарда, чем постоянный прием лекарств, влияющих на тромбоциты.

New England Journal of Medicine, 1983, v. 309, p. 396—403 (Великобритания); American Journal of Medicine, 1984, v. 77, p. 513—523 (США).

Физиология

Стабилизация содержания кислорода в мышцах

Недавно было установлено, что при нормальном парциальном давлении кислорода в крови, оттекающей от легких, в микрососудах мозга парциальное давление этого газа понижено. Причем колебания содержания кислорода в крови аорты почти не изменяют его парциального давления в капиллярах мозга¹.

Продолжая исследовать механизмы снабжения тканей кислородом, Е. П. Вовенко и К. П. Иванов (Институт физиологии им. И. П. Павлова АН СССР, Ленинград) провели исследования газовой диффузии на скелетных мышцах кроликов. Оказалось, что довольно резкие колебания парциального давления кислорода в крови аорты смягчаются, «демпфируются» в микрососудах мышц. Так, изменение парциального давления кислорода в крови аорты на 140 мм рт. ст. вызывает колебания давления в крови артериол (мелких сосудов) всего на 40 мм рт. ст.

По-видимому, явление имеет универсальный характер, так как свойственно микрососудам разных органов. Его физиологическое значение состоит в защите тканей от недостатка или избытка кислорода в пределах естественных колебаний содер-

¹ Вовенко Е. П. и др. — Бюлл. эксп. биол. и мед., 1984, т. 97, № 1, с. 8.

жания кислорода в крови, отходящей от легких. Происходит это за счет диффузии кислорода через стенки артериол. В диапазоне парциальных давлений, больших или равных 100 мм рт. ст., диффундирует только физически растворенный в плазме кислород, а при падении его содержания ниже этого уровня начинается отщепление кислорода от оксигемоглобина (т. е. гемоглобина, присоединившего молекулу кислорода). Отмечено, что способность оксигемоглобина отдавать кислород носит сложный, S-образный характер, способствующий дополнительной стабилизации парциального давления кислорода в тканях.

Доклады АН СССР, 1985, т. 281, № 3, с. 745—747.

Психофизиология

Курение и асимметрия мозговой активности

Известно, что у человека левое полушарие мозга более активно при решении логических задач, а правое — при решении пространственно-образных. Американские психофизиологи Дж. Бойд и И. Мальцман (J. Boyd, I. Maltzman; Калифорнийский университет) изучали, как курение влияет на такую асимметрию мозговой активности.

Об уровне активности полушарий мозга судили по изменению электрического сопротивления кожи правой и левой ладоней (известно, что регуляция электрической активности кожи ладоней осуществляется одноименным полушарием; выше активность данного полушария — ниже электрическое сопротивление на соответствующей ладони). У некурящих межполушарная асимметрия была очень четко связана с характером деятельности, у курильщиков же связь асимметрии с типом задачи отмечалась значительно слабее. При воздержании от курения сопротивление кожи у них в среднем значительно ниже, чем у некурящих, особенно в левой ладони, а после сигареты су-

щественно повышается, причем выявлялось преобладание правополушарной активности. Анализ индивидуальных данных показал, что чем более «злостным» является курильщик, тем в меньшей степени его межполушарная асимметрия зависит от характера задания и в большей степени от того, когда это задание выполняется — до или после курения.

Таким образом, по мере развития никотиномании асимметрия мужеполушарной активности все более подчиняется не характеру деятельности, а ритму поступления в организм никотина.

Psychophysiology, 1984, v. 21, № 3, p. 334—342 (США).

Психология

Время восприятия эмоций

Хорошо известно, что большинство людей вполне однозначно определяют мимическое выражение основных эмоций — радости, удивления, страха, отвращения, гнева, жалости. Однако механизм опознания эмоциональных проявлений далеко не ясен¹.

Канадские психологи Ж. Кируак и Ф. Доре (J. Kirouac, F. Doré; Университет Лавалля, Квебек) показывали одной группе испытуемых в течение очень короткого времени (сотых долей секунды) фотографии лиц, переживающих те или иные

эмоции; другая группа разглядывала те же фотографии по 10 секунд, и их оценки эмоциональной мимики изображенных лиц рассматривались как эталон.

В приведенной таблице показан наиболее важный результат исследования: уменьшение длительности экспозиции от 10 до 0,05 секунды (в 200 раз!) ведет лишь к незначительному снижению точности опознания эмоций (при дальнейшем укорочении временного интервала точность опознания резко убывает). Очевидно, за столь короткое время невозможно проанализировать отдельные компоненты мимики (положение губ, бровей и т. д.), и, следовательно, верная оценка эмоции дается на основании каких-то общих конфигурационных признаков.

Авторы считают, что при существующей высокой скорости опознания эмоций воспринимаются очень быстрые изменения выражения лица, отражающие практически «мгновенные» колебания настроения в процессе общения.

Perceptual and Motor Skills, 1984, v. 59, p. 147—150 (США).

Генетика

Наследственность и среда в развитии ребенка

Американский генетик Р. С. Уилсон (R. S. Wilson; Луисвилльский университет), обследовав 84 пары однояйцевых и 96 пар разнояйцевых близнецов, проследил влияние наследственности и среды на индивидуальную изменчивость роста и умст-

¹ Подробнее см.: Изард К. Эмоции человека. М., 1980.

Правильность опознания эмоций (средний %) в зависимости от времени восприятия

Время, с	Радость	Удивление	Отвращение	Гнев	Жалость	Страх
10,0	97	91	90	90	84	83
0,05	88	72	70	80	80	73
0,01	20	17	21	15	23	16

венных способностей детей в процессе их развития от 1,5 месяцев до 6 лет.

Несмотря на независимость роста и способностей, для обоих параметров установлена одинаковая тенденция: по мере взросления роль наследственных факторов в их детерминации возрастает. Для роста эта тенденция прослеживается уже с полутора месяцев, а для показателей умственного развития — только с 3 лет.

Для каждой близнецовой пары вычислялся индекс синхронности, указывающий на степень сходства в их развитии. У однояйцевых близнецов эти индексы оказались высокими (0,92 — для роста, 0,85 — для умственных способностей), у разнояйцевых для умственных способностей почти столь же высокий (0,71), но для роста значительно ниже (0,57). Таким образом, динамика роста тела в данном возрастном диапазоне обусловлена почти исключительно генетическими причинами. Генотип, по-видимому, оказывает также весьма сильное (причем все возрастающее) влияние на ход умственного развития в разных возрастах; однако конкретная кривая умственного развития, судя по данным Уилсона, в значительной степени подчинена влиянию среды.

Acta Genetica Medica et Gemellologica, 1984, v. 33, p. 149—157 (Италия).

Биология

Значение раннего опыта в формировании поведения

В поведении многих видов позвоночных животных большую роль играет запечатление (или импринтинг) — устойчивое запоминание некоторых внешних раздражителей, воздействующих на животное в первые несколько дней после рождения. Среди беспозвоночных животных явления, сходные с импринтингом, известны пока только у муравьев: нормальное поведение ухода за личинками развивается у них лишь в том случае, если молодые рабочие

в первые дни после выхода из куколок контактируют с личинками и куколками.

Итальянские зоологи из Пармского университета изучали вопрос, играет ли импринтинг какую-либо роль в формировании у муравьев способности узнавать взрослых особей своего вида и агрессивно относиться к посторонним¹. Опыты проводились на рыжих лесных муравьях рода *Formica*. Молодые рабочие муравьи *F. lugubris* выходили из коконов в присутствии взрослых муравьев своего вида (1-й вариант), другого вида — *F. rufa* (2-й вариант) или в полном одиночестве (3-й вариант). Муравьев содержали группами 2—4 недели, а затем проверяли их реакцию на особей своего и чужого вида. Для этого их парами помещали на небольшие пластиковые «арены» и наблюдали за поведением, учитывая все взаимодействия друг с другом. Оказалось, что муравьи 1-го варианта опыта всегда дружелюбно относились к особям своего вида, но нападали на рабочих *F. rufa*. Напротив, муравьи 2-го варианта опыта воспринимали рабочих своего вида как посторонних и яростно на них нападали, а к муравьям *F. rufa* относились столь лояльно, словно они были с ними из одного гнезда. Таким образом, муравьи воспринимали как своих особей того вида, с которым встретились в первые часы после выхода из коконов, и помнили их запахи в течение нескольких недель. У муравьев 3-го варианта опыта, не имевших контактов в период выхода из коконов, процесс узнавания особей своего вида оказался также нарушенным: в половине случаев они нападали на них как на посторонних. Следовательно, импринтинг играет у рыжих лесных муравьев существенную роль в формировании способности различать своих и чужих.

Однако, к удивлению исследователей, при аналогичных экспериментах с муравьями *Lasius niger* были получены совершенно противоположные ре-

зультаты². Рабочие муравьи этого вида, выходявшие из коконов в присутствии особей своего или другого вида (*F. lugubris*), либо в полном одиночестве, впоследствии отлично различали своих и чужих, дружелюбно относились к муравьям *L. niger* и всегда нападали на *F. lugubris*. Значит, у данного вида муравьев импринтинг не участвует в формировании агрессивного поведения по отношению к посторонним.

Эти сведения открывают совершенно новую область исследований: если обучение в раннем возрасте имеет существенное значение у одних видов муравьев и не играет никакой роли у других, то не может ли это быть связано с какими-то более фундаментальными различиями в принципах организации поведения таких видов?

В. Е. Кипятков,
кандидат биологических наук

Ленинград

Биология

Количественное исследование языка муравьев

Изучение систем сигнализации и коммуникации в животном мире относится к одному из ведущих направлений в этологии. Расшировка языка животных связана со значительными трудностями. Наиболее перспективны в этом отношении исследования свойств и возможностей языка животных по характеру задач, решаемых ими с помощью коммуникации.

Известно, что муравьи способны передавать большой объем информации. Попытка оценить количество информации, передаваемой ими в единицу времени, предприняла Ж. И. Резникова (Биологический институт СО АН СССР).

У большинства видов муравьев разведчики передают

¹ Moli F. Le, Mori A. — *Z. für Tierpsychologie*, 1984, Bd. 65, S. 241.

² Moli F. Le, Mori A. — *Monitore Zoologico Italiano*, 1984, v. 18, № 2, p. 170.

фуражирам информацию об обнаруженной пище, при этом коммуникация осуществляется по схеме дистанционного наведения (классическим примером которого служит танец пчел). В эксперименте муравьям предлагалось передавать друг другу уже известное исследователю количество информации. Для этого использовался лабиринт из спичек, названный «бинарным деревом» и состоявший из определенного числа развилок. На одном конце развилки помещалась кормушка с сиропом, на другом — пустая кормушка; иначе говоря, одна развилка соответствовала одному биту информации, которую разведчик должен был передать фуражирам. Проводились опыты с разным числом развилок, что позволило фиксировать общую длительность контакта муравьев при передаче информации в зависимости от ее объема. В любой развитой системе коммуникации длина сообщения и, следовательно, время его передачи пропорциональны количеству информации. По результатам опыта с «бинарным деревом» автором построены линейные зависимости времени контакта муравьев от числа развилок. Средняя скорость передачи информации муравьями составляла около 1 бита в минуту, что на порядок меньше, чем у человека.

В опытах разведчик передавал информацию постоянной группе из 5—8 фуражиров. Число лидеров, способных запомнить путь и повести за собой остальных, уменьшалось по мере усложнения задачи. Интересно, что среди разведчиков встречались как «бестолковые», так и «талантливые» насекомые. Группы фуражиров, получившие информацию от «бестолкового» разведчика, часто ошибались и действовали менее оперативно, чем группы, направляемые их более опытными собратьями.

Муравьи, как оказалось, способны обнаруживать определенные закономерности и использовать их для кодирования, сжатия информации? например, в опыте с лабиринтом из шести развилок длительность передачи информации «все время налево» (ЛЛЛЛЛЛ) была в 2,5 раза меньше длительности пере-

дачи информации при случайной последовательности (ЛПЛПЛПЛ).

Эти первые данные, нуждающиеся еще в дополнительной проверке, указывают на один из возможных путей количественного исследования языка насекомых.

Доклады АН СССР, 1985, т. 280, № 5, с. 1271—1273.

Зоология

Морозоустойчивый комар

Японский энтомолог С. Косима (S. Kohshima; Университет в Киото), работая в Непале, открыл на высоких склонах Гималаев неизвестного науке комара-дергуна, принадлежащего к новому виду — представителю рода *Diamesa*.

Отличительная особенность этого нелетающего насекомого — его морозоустойчивость: комар сохраняет активность даже при температуре -16°C . Основное место его обитания — пустоты, трещины и тоннели в теле ледника, по которым происходит сток талых вод; нередко, однако, он выходит на поверхность ледника, свободно передвигаясь между ледяными кристаллами. Личинки, находящиеся в смежных ямках, питаются различными бактериями.

Обращает на себя внимание и другая особенность — необычно большая продолжительность жизни этого насекомого. Как правило, взрослые комары-дергуны других видов живут всего несколько часов; лишь их личинки способны перезимовать. Из наблюдений Косимы следует, что самки этого вида диамезы вполне активны на леднике даже в конце октября, когда здесь наступает зима. В их теле — при больших запасах жира — содержались яйца, еще не созревшие. Таким образом, у этого вида зимуют не личинки, а самки, несущие яйца весной. Косима предполагает, что откладка яиц «переносится» на весну потому, что осенью невозможно предсказать, где и как пройдут трещины и тоннели в теле ледника, когда наступит сезон питания.

Условия, в которых обитает этот комар, существуют и в Антарктиде, однако там подобного насекомого не обнаружено.

Nature, 1984, v. 310, № 5974, p. 225 (Великобритания)

Этология

Передвижение пчел и шмелей при сборе корма

Недавно энтомологи обнаружили, что медоносные пчелы и шмели определенным образом реагируют на неравномерность в содержании нектара в цветках на микроучастках медоносного массива: перелетая с цветка на цветок, насекомое поворачивает на тем больший угол и совершает тем более короткий перелет, чем больше оно нашло нектара¹. Иначе говоря, малоперспективные участки насекомое пролетает по прямой, а на богатых кружит, посещая большее число цветков. Но какими именно стимулами руководствуется насекомое, избирая тот или иной способ поведения? Экспериментальное исследование этого вопроса предпринял П. Шмид-Хэмпел².

Он соорудил площадку с искусственными цветками-кормушками. В середине такого цветка с привлекающим пчел ярким синим венчиком находилась микрорезервуар с «нектаром» — сахарным сиропом. Используя 20 заполненных и 20 пустых цветков, экспериментатор имитировал естественную неравномерность в распределении кормовых ресурсов. Вскоре несколько пчел стали регулярно посещать искусственный массив медоноса. Пометив этих пчел, экспериментатор начал следующий опыт.

Когда пчела опускалась на первый цветок, непрозрачным

¹ Waddington K. D.—Oecologia, 1980, v. 44, № 2, p. 199; Pyke G. H.—Canad. J. Zool., 1982, v. 60, № 3, p. 417.

² Schmid-Hempel P.—Behav. Ecol. and Sociobiol., 1984, v. 15, № 4, p. 303.

экраном закрывали все остальные цветки, кроме одного, расположенного впереди нее. Таким способом пчелу заставляли пролетать по прямой и последовательно собирать сироп из четырех расположенных в линию цветков. Когда насекомое оказывалось на последнем цветке — в «точке выбора» — открывали по цветку спереди, сзади, справа и слева. Меняя в точке выбора количество и насыщенность сиропа, а также глубину размещения резервуара с сиропом в пределах досягаемости пчелиного хоботка, изучали, как полученное подкрепление влияет на направление движения насекомого. Оказалось, что во всех случаях пчела предпочитала двигаться в избранном (заданном ей) направлении. Но с увеличением времени, проведенного в точке выбора, направленность движения снижалась; кроме того, чем крепче получала она сироп, тем быстрее «забывала» направление своего движения.

Похожие опыты с полем искусственных цветков были проведены Дж. Х. Марденом, изучавшим поисковое поведение шмелей¹. В первую очередь исследователь интересовался, с помощью каких органов чувств шмели способны определять содержание нектара в цветках некоторых видов растений, не прикасаясь к ним. Однако цветок-кормушку с сахарным сиропом от такой же кормушки с водой шмель не в состоянии отличить, пока не попробует ее содержимое хоботком. В одном из экспериментов на поле из 361 кормушки (по 19 в горизонтальных и вертикальных рядах) в случайно выбранные 20 кормушек налили сироп; затем еще в 40 кормушек налили сироп так, чтобы с каждой из ранее заполненных сиропом кормушек соседствовали две другие. Во все остальные налили воду. Таким образом, кормушки располагались группами. Сколь это ни кажется невероятным, шмели сумели заметить и использовать закон распределения кормушек и обследовали кормушки с водой достоверно реже, чем при случайном выборе.

Механизм такого поведения насекомых неясен. Марден, правда, отметил, что, улетаю от кормушки с сиропом, шмель выбирал следующую на более близком расстоянии, чем когда улетаю от кормушки с водой. Но в любом случае средняя длина перелета в несколько раз превосходила расстояние между соседними кормушками. Следовательно, уже известными правилами выбора цветков нельзя объяснить успех шмелей в описанной ситуации. Видимо, какие-то механизмы поиска в сочетании со способностью шмелей к индивидуальному обучению пока что неизвестны науке.

В. М. Карцев

Москва

Физиология растений

Канцерогенные углеводы как стимуляторы роста

В 1979 г. было установлено, что канцерогенный углеводород бенз(а)пирен (БП) присутствует в вечно мерзлой почве 3—4- и 10-тысячелетней давности¹. Исследования, проведенные сотрудниками Всесоюзного онкологического центра АМН СССР и Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института ДВНЦ АН СССР, показали, что содержание БП в вечно мерзлом грунте изменялось мало (от 0,4 до 5,9 мкг/кг сухого вещества) на протяжении не менее 2500 тыс. лет. И в современных почвах содержится от 1 до 5 мкг/кг БП. Объясняется это постоянной скоростью «наработки» БП (как и других канцерогенных полициклических ароматических углеводородов) в результате вулканической деятельности и при синтезе растительными и некоторыми другими организмами, в частности микроорганизмами.

Таким образом, канцерогенные углеводороды присутствовали в биосфере Земли на достаточно длительном отрезке ее истории.

Этот факт вместе с данными о действии бенз(а)пирена и других полициклических ароматических углеводородов на растения, животных и человека позволяет, по мнению А. П. Ильницкого, Г. А. Белицкого, В. С. Мищенко, Н. В. Винниковой и Р. Г. Бутенко (Всесоюзный онкологический центр АМН СССР и Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева), расширить представление о значимости этих веществ в природе и ее эволюции, не ограничиваясь лишь рассмотрением их канцерогенного воздействия. В поддержку подобной точки зрения говорят и результаты опытов по культивированию в питательных средах, содержащих БП (1—11 мкг/л), растительных клеток *Dioscorea deltoidea*. Клеточная масса, росшая в присутствии БП, в 1,5—2 раза превысила массу клеток в контроле. Аналогичное стимулирующее действие на растительные организмы малых доз бенз(а)пирена наблюдалось и в опытах с водорослями, почвенными и гидрокультурами кольяби, табака, ржи, редиса.

Таким образом, бенз(а)пирен и некоторые полициклические ароматические углеводороды могут стимулировать рост растений, по крайней мере при концентрациях ниже порогового уровня их патогенного действия. Эти их свойства, возможно, играют существенную роль в процессах накопления биомассы.

Доклады АН СССР, 1984, т. 274, № 1, с. 216—219.

Ботаника

Редкое растение — мандрагора

Мандрагора — одно из популярнейших лекарственных и «колдовских» растений средневековья. Экспериментальные и полевые работы, а также литературные изыскания позволили специалистам Главного ботанического сада АН СССР Г. М. Проскуряковой и Н. Б. Бе-

¹ Marden J. H.— *Oecologia*, 1984, v. 64, № 2, p. 232.

¹ Ильницкий А. П., Винниградов В. Н. и др.— Доклады АН СССР, 1979, т. 245, № 1, с. 254.

ляниной расширить наши сведения о мандрагоре.

Авторы произвели таксономическую ревизию рода: вместо двух десятков таксонов, описанных в разное время различными авторами, они признали существование только четырех видов, объединенных в две секции. В первую вошли *Mandragora autumnalis* и *M. officinarum*, широко распространенные в странах Средиземноморья, на Балканах, в Малой Азии, и *M. turcomanica* — эндемичное растение Туркмении (допускается, однако, что последний вид может быть обнаружен и в Северном Иране). Вторая секция рода представлена только одним, крайне своеобразным видом — гималайской мандрагорой (*M. caulescens*), которая встречается на высоте 3500—4000 м над ур. м. в Восточных Гималаях и прилегающих горных районах. От трех других видов гималайская мандрагора резко отличается своей морфологией (в частности, наличием стебля), условиями произрастания и характером сезонного ритма.

Сравнение морфологии и особенностей сезонного ритма гималайской и остальных видов мандрагоры убеждают в том, что последние значительно старше по возрасту этой высокогорной формы.

Геологические отложения прежних эпох не сохранили остатков мандрагоры, так что определить ее возраст прямым путем невозможно. Тем не менее проведенный палеогеографический и палеоэкологический анализ все же позволяет назвать время формирования этой группы — миоцен. Центром видообразования в роде мандрагора было Средиземноморье, откуда и шло расселение видов в направлении с запада на восток, а не в обратную сторону — из Гималаев в Средиземноморье, как предполагалось до сих пор.

Туркменская мандрагора — единственный вид этого рода, произрастающий в нашей стране; она хищнически истреблялась и стала очень редким растением. Внесена в «Красную книгу СССР».

Научные доклады высшей школы, биологические науки, 1985, № 2, с. 76—86.



Экология

Возможное влияние «ядерной зимы» на лесную экосистему

В Норвежском сельскохозяйственном университете (Осло) группа сотрудников под руководством Э. Далья (E. Dahl) изучала возможные последствия термоядерной войны для растительности Северного полушария.

Из ряда других работ известно, что при использовании даже малой части имеющегося ядерного арсенала (около 100 Мт) можно ожидать в Северном полушарии падения температуры на 20°, сохраняющегося на протяжении недель или даже месяцев. Однако данное исследование показывает, что и много меньшее похолодание может привести к катастрофическим последствиям для субальпийских, субарктических и бореальных (северных) лесов.

Наблюдения за лесопосадками в северной Норвегии свидетельствуют, что в тех случаях, когда саженцы происходят из южных областей страны, их неприспособленность к новым климатическим условиям проявляется в низкой приживаемости: за каждым холодным летом следует, как минимум, значительная потеря хвоя, усугубляемая грибковыми заболеваниями и поражением деревьев насекомыми-вредителями. Установлено также, что посадку ели (*Picea abies*) не следует производить в местности, высота которой над уровнем моря на 300 м превышает высоту области, из которой взят посадочный материал; для сосны (*Pinus silvestris*) такой перепад высот не должен превышать 200 м. В противном случае непривычные холода приводят к повреждению растительной ткани.

Основываясь на этих наблюдениях, можно сделать выводы относительно вероятных последствий «ядерной зимы»: снижение температуры всего на 5° в течение одного-двух месяцев приведет к серьезным изменениям в лесных экосистемах Северного полушария.

В северных лесах нередки

пожары, вызванные ударом молнии (Служба лесоводства Норвегии в период между 1978 и 1982 гг., например, ежегодно отмечала в среднем до 40 таких возгораний), однако для значительной части северных лесов характерно естественное циклическое возобновление после выгорания. Что же касается масштаба лесных пожаров, которые могли бы возникнуть в случае ядерной катастрофы, то он ни в какое сравнение не идет с естественными пожарами. Сгорание огромного количества древесины должно в таком случае привести к значительному загрязнению атмосферы, что еще более усугубило бы эффект «ядерной зимы».

Ambio, 1985, v. XIV, № 1, p. 63 (Швеция).



Экология

Атмосферный метан в недавнем прошлом и глубокой древности

В атмосфере Земли среди малых по содержанию газов особую роль играют углекислый газ (CO_2), озон (O_3), окись углерода (CO), метан (CH_4) и др. Установлено, что их концентрация в последние десятилетия непрерывно растет.

Метан является основным компонентом природных газов; он поступает в атмосферу с вулканическими выбросами, образуется при анаэробном разложении органических веществ в затопленных почвах, в болотах, илах прудов и озер, выделяется растительными животными. Он плохо растворяется в водной среде и поднимается к поверхности земли в виде пузырьков, скапливается в геологических ловушках.

Начиная с 70-х годов в ряде исследований по определению содержания CH_4 в атмосфере обнаружено, что его концентрация за последние 150 лет увеличилась более чем в 2 раза. Если рост будет продолжаться, он приведет к глобальным изменениям окружающей среды:

Геология

Глубоководное бурение в океане продолжается

31 января 1985 г. из порта Майами (штат Флорида, США) вышло в свое первое плавание научно-исследовательское буровое судно «ДЖОЙДЕС Резолюшн» ("JOIDES Resolution"), пришедшее на смену «Гломару Челленджеру»².

В 101-м рейсе (нумерация принята условно, последним рейсом «Гломару Челленджера» был 96-й) перед экспедицией ставилась цель провести геолого-геофизические исследования дна Атлантического океана у Багамских о-вов — в крупном районе развития коралловых рифов и мощных осадочных толщ, лежащих к востоку от п-ова Флорида. Расположенная здесь Багамская карбонатная платформа представляет собой аналог древних карбонатных образований, которые встречаются в горных поясах различных районов Земли.

В рейсе пробурено 7 скважин: три — на разрезе Малой Багамской банки, чтобы установить, как формировался аккреционный континентальный склон; одна, глубинная, — во Флоридском проливе, чтобы выяснить происхождение и нынешнюю конфигурацию Багамской карбонатной платформы; три — для изучения разреза дна в проливе Эксума, в частности его карбонатного склона и осадочного бассейна. Самые глубокие скважины достигли отметки 1600 м под дном океана.

Под дном Флоридского пролива устанавливается на основании резкого изменения скоростей сейсмических волн (от

4,2 до 5,2 км/с) четкая граница в земной коре; этот акустический горизонт коррелирует с границей между альб-аптскими мелководными известняками и более молодыми пелагическо-хемипелагическими карбонатами. Результаты исследований подтверждают предположение, что Багамская платформа образовалась в результате постепенного погружения в меловое время существовавшей здесь ранее крупной карбонатной мегабанки.

Научное руководство этим рейсом, завершившимся возвращением судна в порт Майами 14 марта 1985 г., осуществляли В. Шлегель (W. Schlägel; Школа морских и атмосферных наук при Университете в Майами) и Дж. Остин (J. Austin; Техасский университет).

102-й рейс судна продолжился 19 марта по 10 апреля 1985 г. в северо-западном районе Атлантического океана, где проводились геофизические исследования мезозойских осадочных пород и океанической земной коры. Завершив этот рейс заходом в порт Норфолк (штат Вирджиния), судно без исследовательских целей совершило переход в порт Понта-Делгада (Азорские о-ва), откуда 26 апреля вышло в 103-й рейс. В его задачи входило изучение процессов образования осадков на морском дне в области, примыкающей к Пиренейскому п-ову. Рейс закончился 20 июня заходом в порт Бремерхафен (ФРГ).

Дальнейшие планы предусматривают глубоководное бурение в Норвежском море (104-й рейс), в Баффиновом заливе и водах, омывающих п-ов Лабрадор (105-й), в районе Срединно-Атлантического хребта (106-й), в Тирренском море (107-й) и т. д. Каждый из рейсов будет продолжаться примерно два месяца. В исследованиях на борту «ДЖОЙДЕС Резолюшн» принимают участие специалисты из США, ФРГ, Франции, Канады и Японии; в будущем к ним, возможно, присоединятся специалисты из Великобритании и Австралии, а также представители западноевропейского консорциума, включающего семь стран.

EOS (Transactions of the American Geophysical Union), 1985, v. 66, № 10, p. 106; JOIDES Journal, 1985, v. XI, № 1, p. 3—6 (США).

потеплению и увеличению O_3 и CO в атмосфере. Американские ученые из Орегонского учебного центра Р. А. Расмуссен и М. А. К. Халил (R. A. Rasmussen, M. A. K. Khalil), продолжая исследование в этом направлении, проанализировали содержимое воздушных пузырьков, образовавшихся в толще льда в районе Северного и Южного полюсов. Было собрано 80 проб, относящихся к разным временным интервалам — от прошлого столетия до 3000 лет назад. Установлено, что концентрация метана 250 лет назад и еще ранее менялась незначительно и составляла приблизительно 45 % от настоящего уровня, или 700 (± 30) частей на 1 млрд (по объему), причем в Арктике и Антарктике она была разная: в Гренландии на 10 % (± 4 %) выше, чем в районе станции Берд (Южный полюс). Такой результат можно объяснить расположением в Северном полушарии примерно в два раза больше, чем в Южном полушарии, количества естественных источников атмосферного метана, что обусловлено неодинаковым распределением суши и океана, из глубин которого CH_4 не успевает подняться к поверхности и окисляется по пути.

Итак, значительный и быстрый рост содержания CH_4 в атмосфере Земли начался около 150 лет назад и прирост составляет сейчас почти 1,3 % в год. Полученные данные, видимо, указывают на косвенную связь между увеличением концентрации метана и быстрым ростом антропогенной активности, усилившейся именно в этот период: рост населения привел к росту производства продуктов питания, в частности к расширенному возделыванию риса на затопленных полях (а рисовники — один из важнейших источников CH_4) и разведению крупного рогатого скота. Кроме того, стали интенсивно использоваться природные газы.

Таким образом, есть все основания считать, что рост концентрации метана в атмосфере вызван хозяйственной деятельностью человека и ее активизация еще более усилит этот процесс.

Journal of Geophysical Research. Atmospheres, 1984, v. 89, № 7, p. 11599—11605 (США).

¹ В названии судна слово «JOIDES» представляет собой аббревиатуру от «Joint Institutions for Deep Sea Sampling» («Объединение учреждений с целью отбора глубинных земных пород»).

² Подробнее о новом судне см.: Курнос В. Б. Новый проект глубоководного бурения дна океана. — Природа, 1984, № 10, с. 62; На смену «Гломару Челленджеру». — Природа, 1984, № 2, с. 117.

Геология

Осадки на континентальных склонах

Американские геологи Д. Дж. Стэнли, Т. А. Нелсен и Р. Стакенрат (D. J. Stanley, T. A. Nelsen, R. Stuckenrath) изучали процесс накопления осадков в голоцен-плейстоценовое время (не древнее 40 тыс. лет) в одном из наиболее хорошо исследованных районов Северной Атлантики — на континентальном склоне и его подножии, в 120 км к юго-востоку от Нью-Джерси. Детально были изучены породы, отобранные на 18 станциях из различных геоморфологических участков склона и подножия между каньонами Уилмингтон на юге и Линденколь на севере. Использовались также материалы сейсмопрофилирования, подводных погружений, фотографирования дна и др. Возраст пород определялся радиоуглеродным методом.

Как и ожидалось, породы неоднородны по вертикальному разрезу и по площади. С глубиной повсеместно возрастает объем грубообломочного материала, источником которого служит размываемый шельф. Текстура осадков указывает, что они поступили на склон в виде мутявых потоков.

Особое внимание было уделено изучению скорости накопления осадков, при этом выявлены интересные закономерности. В колонке пород исследователи выделили несколько горизонтов мощностью 10—15 см и определили возраст центральной части. Среднюю скорость накопления осадков рассчитывали с учетом всей мощности пород — от момента формирования горизонта до настоящего времени. Однако, как выяснилось, в определенные интервалы времени, охватывающие несколько сот лет, скорость седиментации резко возрастает — на порядок и более по сравнению со средней. Так, в одном из пунктов исследований за последние 24 090 лет отложилось 927 см осадков; скорость седиментации, если считать ее постоянной, составляет 39 см/1000 лет. Но в интерва-

ле 24 090 — 23 990 лет было накоплено 121 см осадков — скорость порядка 1210 см/1000 лет. Аналогичное, хотя и несколько меньшее, соотношение средней и интервальной скоростей седиментации отмечено и на других станциях. Эти факты подтверждают представление о том, что осадки поступают на дно склона не равномерно, а периодически, как бы порциями.

Обнаружено также, что почти повсеместно скорость накопления осадков постепенно уменьшается. Например, на одной из станций, расположенной в верхней части склона, за 34 тыс. лет накопилось около 550 см осадков (средняя скорость 16 см/1000 лет), из них за последние 15 тыс. лет — только 40 см (средняя скорость 3 см/1000 лет). Особенно ярко уменьшение скоростей накопления осадков выражено на локальных топографических возвышенностях, где за последние 24 тыс. лет она не превышала 1—2 см/1000 лет. Рельеф оказывает сильное влияние на скорость седиментации: на дне каньонов она в 2 раза выше, чем на их бортах. В целом, в пределах склона скорость седиментации существенно ниже, чем на его подножии.

Авторы считают, что снижение скорости седиментации связано с подъемом уровня Мирового океана, что привело, по их мнению, к уменьшению размыва шельфа и, следовательно, к сокращению объема поступающего на склон осадочного материала.

Science, 1984, v. 226, № 4671, p. 125—133 (США).

Геология

Геология приальпийских озер

По периферии Альп — во Франции, Швейцарии, ФРГ, Италии — расположена цепочка озер, которые дают начало многим крупным рекам Западной Европы или по крайней мере питают их. Все озера, находящиеся в различных тектониче-

ских зонах Альпийского горного пояса, довольно глубоки, однако истинная глубина такой впадины (т. е. общая мощность водной и осадочной толщ) ранее не была известна. Кроме того, относительно происхождения этих озер высказываются крайние точки зрения: по мнению одних исследователей, озерные впадины буквально вырыты движущимися массами льда, по мнению других — образованы в результате локальных тектонических провалов. Какие осадки заполняют эти впадины: только четвертичные гляциальные (продукты разрушения Альп) или же еще и более древние, накопившиеся в долинах до великого четвертичного оледенения? Ответы на эти вопросы позволяют определить возраст озер, а также помогут дальнейшей расфировке геологической истории Альп.

Швейцарские геологи из Цюриха П. Финк (P. Finck), Геофизический институт), К. Кельтс (K. Kelts; Геологический институт) и А. Ламберт (A. Lambert; Лаборатория гидравлики, гидрологии и гляциологии) изучали осадочную толщу 17 приальпийских озер. Непрерывное сейсмическое профилирование позволило им установить ее строение, а исследования с помощью радиобуев — получить данные о мощности отложений и скорости распространения сейсмических волн в различных осадочных слоях. Кроме того, вся осадочная толща Цюрихского озера была вскрыта бурением, что позволило провести прямое сопоставление сейсмических и геологических данных.

Большинство озерных впадин подстилается двумя толщами осадков, несколько различающихся по скоростям сейсмических волн (в верхней — не более 1,75 км/с, в нижней — от 1,8 до 2,25 км/с). Нижняя толща, как правило, в несколько раз мощнее верхней. Фундамент, в зависимости от состава пород, имеет скорости сейсмических волн от 3,5 до 6,7 км/с. Бурение на Цюрихском озере показало, что его верхний осадочный слой — это неконсолидированная горизонтально-слоистая толща, представленная позднеледниковыми илами и

голоценовыми карбонатными илами: нижний слой — деформированные (возможно, подводным оползнем) слоистые ледниково-озерные илы и глины. Под ними находится 20-метровый песчано-гравийный горизонт с градационной слоистостью.

Максимальная мощность осадков установлена в озере Лаго-Маджоре (Италия) — около 500 м. Это озеро вообще поставило своеобразный рекорд: общая глубина его впадины (т. е. заполняющей его водно-осадочной толщи) достигает 850 м; фундамент залегает на 750 м ниже уровня океана. Характерно, что и в остальных озерных впадинах Северной Италии фундамент залегает ниже уровня моря на 300 и более метров. В северной приальпийской зоне (во Франции, Швейцарии, ФРГ) и мощность осадочной толщи меньше (100—350 м), и общая глубина впадины не превышает 400 м (от уровня воды). Наиболее глубока здесь впадина Женевского озера; фундамент лежит на 160 м ниже уровня океана.

Bulletin of Geological Society of America, 1984, v. 95, № 9, p. 1118—1128 (США).

Палеогеография

Пересыхало ли Средиземное море?

К. Хсю (K. Hsü; Швейцарский федеральный технологический институт, Цюрих) полагает, что Средиземное море в течение своей геологической истории неоднократно пересыхало.

Известно, что ныне потери влаги Средиземным морем в ходе испарения в 10 раз превышают общий сток всех впадающих в него рек. Если бы теперь оно было отрезано от Мирового океана, потребовалось бы не более 1000 лет, чтобы этот бассейн полностью высох, оставив влагу лишь в отдельных впадинах. К. Хсю считает, что около 6 млн лет назад, когда оледенение поглотило значительную часть влаги, а зер-

кало Мирового океана опустилось до такого уровня, что порог Гибралтарского пролива оказался слишком высоким, Средиземное море было отрезано от Атлантики. В результате изоляции через сравнительно короткое по геологическим масштабам время интенсивное испарение привело к резкому повышению концентрации солей в морской воде (так называемый мессинский кризис солёности Средиземного моря), быстрому обмелению, а затем и почти полному иссушению средиземноморской впадины.

В пользу этой гипотезы приводятся палеонтологические и геохимические свидетельства, показывающие, что в названный период времени оледенение действительно достигало максимума, а уровень Мирового океана упал примерно на 50 м. К этому же времени относится, по-видимому, формирование мощных пластов калийных солей в бассейне Средиземного моря. Они обнаружены, в частности, на о-ве Сицилия и в Калабрии (Италия), где их залежи ныне активно разрабатываются. Океанологические исследования указали на присутствие мощных пластов солей на дне глубоководной впадины Ионического моря. Дно Средиземного моря во многих местах изоборужено каньонами, которые, по мнению сторонников гипотезы, были прорезаны во времена его иссушения протекавшими здесь реками. Их русла местами прослеживаются до источников, находящихся ныне на суше. Так, вблизи Каира (Египет) под земной поверхностью найдены следы русла ископаемой реки, врезанного в древнюю поверхность и по размерам превосходящего известный Большой каньон на реке Колорадо (США). Наконец, доказательством того, что Средиземное море некогда (и в течение длительного времени) представляло собой весьма мелководный бассейн, служат находки во многих пунктах окаменелых водорослей, которые, как показывает их анализ, могли произрастать лишь в прибрежных условиях.

Однако у этой гипотезы есть и противники. Р. С. Дитц и М. Вудхауз (R. S. Dietz, M. Woodhaus; Университет штата Аризона, США) указывают,

что в перенасыщенном растворе, каким могли стать в отдаленную эпоху средиземноморские воды, соли кристаллизуются и выпадают на дно; таким образом, их отложение могло идти и без существенного иссушения всего глубоководного бассейна. В Средиземное море выпадают как реки умеренного пояса (например, Рона), так и реки, связанные с поясом тропических ливней (Нил). Они, по мнению оппонентов, в любое время могли предотвратить полное иссушение бассейна.

Дискуссия, привлекавшая многих геологов, океанологов, климатологов и геофизиков, продолжается.

The Sciences, 1984, v. 24, № 3, p. 4—6 (США).

Палеонтология

Гигантская ископаемая змея

При раскопках на территории Республики Мали (Западная Африка) были найдены остатки морской змеи, обитавшей здесь около 50 млн лет назад, в эпоху эоцена. Находку изучал французский палеонтолог Ж.-К. Раж (J.-C. Rage).

Хотя скопление ископаемых остатков насчитывает 268 отдельных позвонков каждый длиной более 4 см (у некоторых змей может насчитываться до 565 позвонков), простым арифметическим подсчетом размеры животного установить нельзя: позвонки принадлежат нескольким особям. Поэтому Ж.-К. Раж предположительно определяет длину тела змеи в 9 м, и это ставит ее в разряд крупнейших. Присвоенное ей название — *Palaeophis colossaeus* — вполне соответствует таким размерам. Как и все палеофиды, эти древние морские змеи, в отличие от современных морских, были ядовиты.

Среди ныне живущих змей ближайшими родственниками палеофиса колоссеуса являются гигантские удавы, питоны, анаконды. Встречающийся в Юго-Восточной Азии питон с сетчатым узором может достигать 6 м в длину. Живу-

щая в Южной Америке анаконда, хотя и весит больше питона, по длине, насколько известно, не превышает 8,45 м.

Comptes rendus des séances l'Académie des Sciences, 1984, v. 296, p. 1029 (Франция).



Охрана природы

Охота на аляскинского волка возобновляется

В 1984 г. Комиссия по вопросам охоты штата Аляска (США) четырьмя голосами против двух постановила разрешить отстрел волков с самолетов и вертолетов, обосновав это необходимостью увеличить численность карибу и лося, служащих объектами охоты для местного населения.

Постановление вызвало резкую критику со стороны многих сторонников охраны природы. Так, видный биолог А. Менвилл (A. Manvill; американское Общество защитников дикой природы) считает, что численность лосей и карибу зависит не от количества волков, а от браконьерства, утраты привычной среды обитания, а также от наличия медведей и суровости зим; голосовавший за возобновление охоты С. Харбо (S. Harbo; Университет штата Аляска) утверждает, что, хотя в суровые зимы поголовье лосей действительно падает, именно хищники не позволяют затем подняться ему до прежнего уровня.

Общая численность аляскинского волка составляет сейчас от 6 до 10 тыс. Принятым планом предусматривается отстрел не менее 244 волков в период до 1987 г. Выступая против принятого постановления, президент Общества защитников дикой природы А. Смит (A. Smith) приводит в пример штат Миннесота: достаточно было разрешить здесь отстрел волков всего на два года, как этот вид оказался на грани полного уничтожения.

Сейчас в США волк считается находящимся под угрозой видом на территории всей страны, за исключением штатов

Аляска и Миннесота. Власти Аляски поставили задачу вдвое увеличить численность лосей в районе площадью 40 тыс. км². Борьба вокруг «волчьей проблемы» продолжается.

Science News, 1984, v. 126, № 18, p. 279 (США).

Археология

Советские археологи на Кубе

Начиная с 1978 г. археологи Института истории, филологии и философии Сибирского отделения АН СССР участвуют в полевых работах на Кубе. Конечная цель совместных исследований — составление «Археологического атласа Кубы», который должен стать первым научным документом такого рода во всей Латинской Америке.

В 1983 г. работы проводились в юго-восточной части острова (провинции Ольгин и Гранма). Здесь были обследованы земледельческие поселения культуры субтаино, а также археологические памятники, относящиеся к древнему аборигенному населению — индейцам сибоньям. Особый интерес представляют памятники в долине реки Маяри, на которых найдены богатые коллекции каменных орудий. Например, изделия из камня со стоянки Наранхо 1 (пилы, струги, скобели, резцы и т. п.) предназначались в основном для обработки дерева, тогда как ножи со стоянки Мелонес 10 применялись при разделке туш животных.

Типологические и технологические характеристики каменного инвентаря, а также кости животных, найденные с ними в одном комплексе (пещера Ла-Масанга), позволили Р. С. Васильевскому, В. И. Молдину и А. К. Конопацкому предварительно датировать наиболее древнюю группу памятников позднелейстоценовым или раннеголоценовым време-

нем (в пределах 10—8 тыс. лет назад). Вывод этот имеет исключительно важное значение для всей истории Карибского бассейна, поскольку удравняет дату заселения Кубы на 5—6 тыс. лет по сравнению с традиционной точкой зрения. С целью проверки выдвинутых предположений на ряде стоянок взяты пробы для радиоуглеродного анализа.

Известия Сибирского отделения АН СССР, 1984, № 9. Серия истории, филологии и философии, вып. 2, с. 70—71.

История науки

Музей ЭВМ в США

Большинство людей, интенсивно пользующихся сейчас карманными компьютерами, никогда не видели прародителей своих машинок вблизи. Теперь такая возможность появилась: путешествие в прошлое ЭВМ можно совершить в Бостоне (США), где организован первый музей вычислительных машин — в память об этих машинах и о людях, их создавших. Он так и называется — Музей ЭВМ.

Посетители, пришедшие в музей, невольно вспоминают «бегемотов» ранних дней компьютеризации — огромные «ЭНИАК» и «УНИВАК», битком набитые радиолампами, вспоминают времена, когда поиск причины остановки ЭВМ часто приводил к обнаружению мухи, забравшейся в недра машины и приведшей к короткому замыканию.

Три из четырех открытых в настоящее время галерей музея охватывают период с 1950 по 1979 гг. и называются «Эра радиоламп», «Эра транзисторов» и «Эра интегральных схем». Четвертая галерея под названием «Компьютер и изображение», посвященная компьютерной графике, будет содержать множество современных функционирующих устройств.

В будущем устроители музея надеются расширить свою экспозицию, добавив, например, в нее такой оригинальный артефакт, как палочки Непера — карманные вычислительные устройства, датированные около 1617 г.

Infoworld, 1984, № 12, p. 37 (США).

Роман Бениаминович Хесин

16 июля 1985 года скончался член-корреспондент АН СССР Роман Бениаминович Хесин, заведующий лабораторией молекулярных основ генетики Института молекулярной генетики АН СССР, член редакционной коллегии журнала «Природа».

Р. Б. Хесин родился 24 марта 1922 г. в Москве, в семье врача. Раннее увлечение биологией и учением Дарвина определило его призвание. В 1939 г. он поступает на биологический факультет Московского государственного университета. В 1941 г.

добровольцем уходит на фронт, где был командиром взвода противотанковой обороны. После ранения, в 1943 г. возвращается к учебе в университете. Он становится учеником выдающегося советского генетика А. С. Серебровского. Под руководством Н. И. Шапиро, старшего ученика А. С. Серебровского, Р. Б. Хесин выполнил свои первые научные работы на дрозофиле по популяционной генетике. Наряду с этим он начинает изучать роль цитоплазмы в наследственности, так называемый материнский эффект, что стало темой успешно

защищенной им в 1948 г. кандидатской диссертации.

После окончания университета Р. Б. Хесин был оставлен ассистентом при кафедре генетики. Однако трудная в те годы судьба генетики заставляет его сменить специальность, он становится биохимиком и работает под руководством С. Я. Капланского в Институте биологической и медицинской химии АМН СССР. Но худо не оказалось без добра, и Р. Б. Хесин стал первым в нашей стране генетиком, хорошо знавшим биохимию, и биохимиком с блестящей генетической и широкой биологической подготовкой. В итоге формируется его научное кредо, которое он выразил много позже так: «Генетика ставит вопросы и сама же отвечает на них в биологической форме. Молекулярная биология не способна выдвигать общегенетические проблемы; она только дает детальные ответы на вопросы, выдвинутые другими разделами биологии».

В 1956 г. Р. Б. Хесин защищает докторскую диссертацию. Он получил принципиальные результаты — впервые показал возможность синтеза белка в изолированных цитоплазматических гранулах, что позволило заявить об определенной автономности этих клеточных структур.

В 1956—1959 гг. он возглавляет группу биохимической генетики Института биофизики АН СССР. Занимается генетикой бактериофагов. В 1959 г. на Всесоюзном съезде физиологов, фармакологов и биохимиков делает замечательный доклад, в котором сообщает о доказательстве генного контроля над физиологическими процессами.

В этом же году по приглашению И. В. Курчатова, И. Е. Тамма и А. П. Александрова Р. Б. Хесин возглавляет сектор Радиобиологического отдела Института атомной энергии и продолжает работы по биохимической генетике. Здесь, а позже в вышедшем из него и разросшемся из отдела в институт, Институте молекулярной генетики АН СССР Р. Б. Хесин проявил лучшие грани своего многосто-

ронного дарования. Он, его ученики, его школа выполняют целую серию блестящих работ, выдвинувших советскую молекулярную биологию на передовые рубежи этой науки. Перечисление этих работ составило бы большой список. Это и ставшие классическими исследования по экспрессии генов бактериофага, и работы по механизмам регуляции активности генов, регуляторной роли РНК-полимеразы, выяснению структуры РНК-полимеразы, регуляции ее собственного синтеза и т. д.

За цикл исследований по структуре и генетике РНК-полимеразы в 1982 г. Р. Б. Хесину была присуждена Государственная премия СССР. Он был награжден орденом Трудового Красного Знамени.

С 1965 г. Р. Б. Хесин возвращается к работам с дрожью и первым в нашей стране начинает исследования по биохимической генетике и молекулярной генетике эвкарриот.

Совсем недавно, в 1984 г., вышла в свет последняя фундаментальная работа Р. Б. Хесина «Непостоянство генома». Он посвятил ее своему отцу, от которого унаследовал дар исследователя и этическую принципиальность, и А. С. Серебровскому, наставившему его на генетическую дорогу. В этой книге Р. Б. Хесин проявил не только свой огромный научный потенциал, но и эрудицию высокообразованного гуманитария.

Эти качества проявились в его широкой и весьма плодотворной педагогической деятельности как создателя ежегодных школ по молекулярной биологии и как профессора Московского государственного университета, на лекции которого стекалась едва ли не вся биологическая Москва.

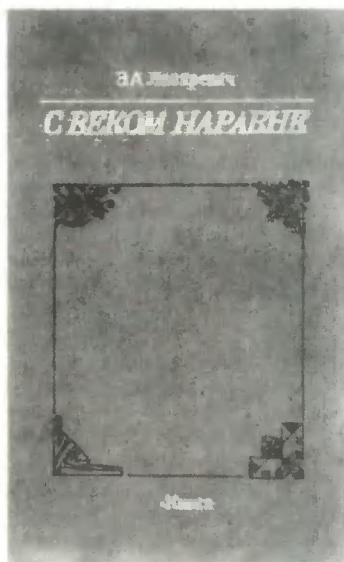
Человек неподражаемой самодисциплины и поразительной трудоспособности, Роман Бениаминович Хесин останется в нашей памяти как образец человека и ученого.

Редакционная коллегия

Опыт краткой истории научно-популярной литературы

Г. К. Церава

Бокситогорск



Э. А. Лазаревич. С ВЕКОВ НАРАВНЕ. Популяризация науки в России. Книга. Газета. Журнал. М.: Книга, 1984, 383 с.

Более десяти лет назад, в апрельском номере «Природы» за 1974 г., была опубликована статья Э. А. Лазаревич «Как началась российская журналистика», в которой речь шла о появившихся в XVIII в. первых русских изданиях журнального типа — «Примечаниях» к газете «Санкт-Петербургские ведомости» и «Ежемесячных сочинениях, к пользе и увеселению служащих». Многие читатели этой статьи, по-видимому, впервые

открыли для себя тот факт, что наша отечественная журналистика по существу начиналась как научно-популярная.

Каждая из публикаций Элеоноры Анатольевны Лазаревич — преподавателя факультета журналистики МГУ, ныне доктора филологических наук — чаще всего неожиданность и даже своего рода открытие. И связано это не только с особенностями авторского подхода к исследованию, но и с тем, что Э. А. Лазаревич уже более 25 лет изучает область чрезвычайно мало разработанную — историю и теорию научно-популярной печати.

Существовавшие до последнего времени сравнительно немногочисленные статьи и книги по этой теме всегда касались локальных явлений, между которыми оставались провалы. Э. А. Лазаревич искала существующие здесь связи, погружаясь в море полузабытых или вовсе забытых первоисточников, заново изучала вклад отдельных ученых и общественных деятелей в дело распространения знаний, исследовала значение отдельных издателей. И в результате сначала в 1981 г. выпустила в Издательстве Московского университета учебное пособие «Популяризация науки в России», а затем на базе его — рецензируемую книгу.

Может быть, не все в этой книге совершенно — не везде стройна ее архитектура, не всегда одинаково глубок анализ, немало и «белых пятен». Но сам факт появления первой краткой истории русской научно-популярной журналистики, отражающей сложную природу, многообразие и закономерности эволюции этого жанра, несомненно, важен.

Книга Э. А. Лазаревич скорее всего станет стартовой площадкой для дальнейших исследований в этой области — теперь есть от чего оттолкнуться, есть опора. Эту книгу, благодаря обширным указателям, будут использовать и как справочник по

русским научно-популярным книгам и журналам. Ее читают и будут читать все истинные библиофилы. И наконец, сформулируем главную задачу исследования словами автора: «Богатейший опыт более чем 250-летней истории распространения знаний в России должен стать достоянием широкой аудитории и помочь современным популяризаторам науки в их борьбе за умы и сердца читателей» (с. 6).

В рецензируемой книге пять глав: «Становление популяризации науки (начало XVIII — первая четверть XIX в.)», «Важное средство просвещения (1825—1861)», «Воспитание самосознания народа (1861—1895)», «Орудие классовой борьбы (1895—1917)», «Университет миллионов (теория и практика современной популяризации науки)». Каждая глава заканчивается подробным резюме.

Итак, перед нами общедоступная история популяризации науки и техники с помощью печатного слова (книги, журналы, газеты) в нашей стране. Введенный в 1707 г. Петром Великим гражданский шрифт оказался тем надежным и неизблемым основанием, на котором возводилось здание просвещения, науки и культуры в России нового времени. В начальный период своего бытия популяризация науки шла параллельно, рука об руку с выпуском учебников и просто научной книги. «Взрывообразно, — справедливо отмечает автор, — была подготовлена более широкая, чем в предшествующие века, читательская аудитория, интересующаяся книгой о естествознании. И были приняты энергичные меры к созданию таких книг» (с. 9).

В результате появились вначале компилятивные и переводные книги, такие как «География, или Краткое земного круга описание» (1710), «Разговоры о множестве миров» Фонтенеля в переводе А. Кантемира (1740). Истоки популяризации науки восходят также к упомянутым «Месячным историче-

ским, генеалогическим и географическим примечаниям в «Ведомостях», сокращенно «Примечание на Ведомости», которые издавались Петербургской академией наук в 1728—1742 гг. под редакцией Г. Ф. Миллера.

Читатель найдет в книге много славных имен тех, кто был в свое время вдохновителем и движителем приобщения народных масс к научным знаниям. В монографии достаточно полно рассказано о подвижниках популяризации — Н. И. Новикове, И. А. Давгубском, В. В. Битнере, Н. А. Рубакине и о многих других, достойных нашей благодарной памяти. Вместе с тем автор не скрывает своей антипатии к таким деятелям, как О. И. Сенковский или М. С. Хотинский, хотя, с нашей точки зрения, не всегда права в своих доводах.

Э. А. Лазаревич воздает должное знаменитым популяризаторам XIX и XX вв., которые, будучи сами творцами науки, являлись одновременно и талантливыми популяризаторами. Один из них, академик С. И. Вавилов, разъяснял: «В науке всегда сосредоточен ряд очень конкретных выводов, понятий, приемов, которые необходимы для специалиста, но практически мало нужны для человека, занимающегося другим делом. Вместе с тем каждая наука заключает в себе некоторые очень широкие понятия, законы, выводы, имеющие нередко значение, далеко выходящее за рамки потребностей данной области знания» (с. 296). Эти понятия, законы и выводы должны становиться достоянием широких масс.

В главе четвертой рецензируемой книги есть раздел «В. И. Ленин — организатор пропаганды науки и техники», где говорится о том, какое огромное значение придавал основатель Советского государства популяризации научно-технического прогресса и как он способствовал этому делу своими трудами. «Ленин многократно подчеркивал, — пишет Э. А. Лазаревич, — мировоззренческое значение популяризации, показывая неразрывную связь отдельных наук и теории познания. Он высоко оценивал материалистические традиции отечественной популяризации и видел за-

лог их развития в союзе философов и естествоиспытателей» (с. 282).

Сказанное особенно актуально в условиях нынешнего ошеломляющего уровня естествознания и техники, когда задачи популяризации стали шире и глубже. Жанру научно-популярной литературы уделяется все больше внимания: появляются новые журналы, например «Наука в СССР», «Природа и человек», «Энергия», растет выпуск научно-популярных книг, возникают новые серии и циклы. Этот процесс, безусловно, будет развиваться. Здесь уместно вспомнить слова академика И. В. Петрянова-Соколова. Он сказал, что научно-техническая информация сегодняшнего дня — золотоносная руда, а популярная книга будущего (иногда и современная) — драгоценный металл.

Вернемся, однако, к рецензируемой книге, теперь, — к ее недостаткам. Непонятно, почему автор не нашла нужным сказать о таком могучем факторе культуры и просвещения, как энциклопедические словари. Можно только сожалеть, что читатель не найдет упоминаний ни о первом — замечательном «Энциклопедическом лексиконе» Плюшара, начальные тома которого успел перелистать Пушкин, ни о «Военном энциклопедическом лексиконе», первый том которого вышел в 1837 г. Ничего не сказано об энциклопедиях Брокгауза и Ефрона и братьев Гранат, не говоря уже о таких изданиях, как «Справочный энциклопедический словарь» Старчевского или «Русский энциклопедический словарь» Березина. Названа, и то вскользь, лишь «Детская энциклопедия» Глазунова. А между тем энциклопедические словари как нельзя лучше отвечали потребностям популяризации науки и техники.

Можно пожалеть о многочисленных опечатках и отдельных невыверенных фактах. В книге отведено достаточно места видному французскому ученому Ф. Д. Араго, научно-популярные труды которого признаны классическими, не потерявшими своей значимости и в наши дни. Рассказывая об одном из них, о «Громе и молнии», изданном в русском переводе Хо-

тинского в 1859 г., автор пишет: «Сочинение завершается хронологической таблицей главных астрономических открытий, которая включает в себя изобретение очков (около 1300 г.), термометра (1600), зрительных труб (1606) и т. д., вплоть до обнаружения Ласселем седьмого и восьмого спутников Урана (1851)» (с. 85). Вызывает недоумение сообщение о том, что у Урана не пять, как мы считаем, а восемь (!) спутников.

Книга щедро и удачно иллюстрирована. Жаль только, что и в одной из подписей (на с. 90) есть опечатка.

Рецензируемая книга вышла тиражом всего 4000 экземпляров и быстро разошлась. Следует надеяться, что она будет переиздана и автор будет иметь возможность расширить текст и устранить проникшие в него погрешности, особенно досадные в книге, которая так нужна и полезна.

Древнейшие обитатели Северо-Востока Азии

И. И. Крупник,
кандидат исторических наук

Москва

Какой самый маленький народ в Советском Союзе? Пожалуй, ответить на этот вопрос нелегко даже специалисту-этнографу. Известны в нашей стране народности численностью всего в несколько сотен человек: энцы на севере Красноярского края, негидальцы в Хабаровском крае, ороки в Сахалинской области; крызы, хиналугцы, будугцы и бацбийцы на Кавказе. Но есть ли еще меньше?

Пожалуй, самым маленьким народом СССР могут считаться древнейшие обитатели крайнего Северо-Востока нашей страны — керекі. Сейчас они живут только в двух поселках на юге Чукотского автономного округа Магаданской области — Хатырке и Мейныпильгино, среди преобладающего чукотского



В. В. Леонтьева. ЭТНОГРАФИЯ И ФОЛЬКЛОР КЕРЕКОВ. Отв. ред. Н. Н. Диков, М.: Наука, 1983, 130 с.

и русского населения. В 1970 г. при проведении Всесоюзной переписи в Мейныпильгыно лишь 15 человек назвали себя «керекими» (еще 16 записались представителями других национальностей, но имели одного из родителей керек); в Хатырке кереков числилось 11 человек. В 1975 г. в обоих поселках оставалось лишь 14 человек, владеющих керекским языком, — в основном старики и люди среднего возраста. Сейчас же активных носителей керекского языка можно, видимо, в буквальном смысле слова пересчитать по пальцам.

Судьбе этого маленького народа, его истории и культуре посвящена рецензируемая книга, написанная сотрудником магаданского Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института Сибирского отделения АН СССР, этнографом и писателем В. В. Леонтьевым. Это первая монография о керекках (впрочем, всех упоминаний о них в научной литературе вряд ли наберется больше двух-трех десятков) и наиболее полная на сегодня публикация их фольклора. Книга

дает достаточно подробное представление о прежнем расселении и численности керекков, их хозяйственной деятельности, материальной и духовной культуре.

Стоит ли сейчас публиковать специальную книгу о народе численностью в двадцать человек или записывать сказки на языке, который почти исчез, а завтра совсем исчезнет? На нем уже не будут печататься книги и журналы, вряд ли кто-нибудь станет изучать его в школе. Однако историческая роль керекков и их языка далеко не измеряется цифрами их современной численности. И это убедительно показала рецензируемая книга.

Начнем, с того, что в прошлом керекки были гораздо более многочисленны. Как считает автор, в XVII—XVIII вв. их этническая территория протянулась вдоль берегов Берингова моря от Анадырского лимана до мыса Олюторский, т. е. охватывала почти тысячу километров открытого морского побережья. На всей этой территории сохранились остатки керекских жилищ и поселений, их древних святилищ и жертвенников. Еще на рубеже XIX—XX вв. посетивший земли керекков В. Г. Богораз оценивал их численность в 650 человек. Однако уже тогда значительная часть северных керекков была ассимилирована чукчами, а южная — коряками. Процесс ассимиляции резко ускорился в XX в.: в 1926 г. керекков оказалось всего 315 человек, в 1937 — 152, а в 1959 — около 60.

История керекков в XVIII—XIX вв. полна трагических событий: голодовок, эпидемий, опустошительных набегов более сильных и воинственных соседей — чукчей и коряков. И все же можно полагать, что основная масса керекков не вымерла, а волилась в состав ближайших территориальных групп. Это обычное явление в зонах активных этнических контактов, где динамика численности народов очень зависит от социальных факторов, прежде всего от «престижности» той или иной этнической общности. Думаю, что если собрать всех потомков керекков среди коряков и чукчей, то они будут исчисляться сотнями и даже тысячами.

Но главная особенность керекков заключена, видимо, в том, что они являются более древними обитателями крайнего Северо-Востока Азии, чем их нынешние соседи — чукчи, коряки и даже эскимосы. В культуре керекков, как показали исследования В. В. Леонтьева, очень много архаических элементов, восходящих, видимо, к самому древнему палеоазиатскому племени населения тихоокеанского побережья Северной Евразии. Оказалось, что территория обитания керекков, в XVIII—XIX вв. «забытая земля», ранее была зоной активных культурных контактов, связывающих единой цепью древних приморских охотников и рыболовов Северной Пацифики от Чукотки до Сахалина и Курильских о-вов. В культуре керекков обнаруживается очень сильное влияние аборигенов Камчатки, ительменов; в ней есть сходные черты с древнекорякской культурой северо-западного побережья Охотского моря. Через территорию керекков должно было проникать на юг и влияние арктических морских зверобоев — эскимосов, следы которого исследователи находят на западном берегу Камчатки и Сахалина.

Значит, в этой цепи народов северной части Тихого океана керекки отнюдь не были забытым звеном. Скорее наоборот, в их древней культуре следует искать ответы на многие нерешенные вопросы истории этого гигантского региона, игравшего ключевую роль в заселении Америки и последующих культурных контактов аборигенов высоких широт Старого и Нового света. Отсюда понятно, что любая новая информация о керекках имеет огромную ценность.

Книга В. В. Леонтьева — не просто сводка имеющихся в литературе сведений об этой маленькой народности. Ее автор — прекрасный знаток традиционной культуры и быта народов Чукотки. Детство его прошло среди местных охотников-зверобоев в чукотском поселке Уэлен (об этом В. В. Леонтьев рассказал в недавно вышедшей книге «Время охоты на моржей», Магадан, 1984). Прекрасное знание чукотского языка, фольклора и бытового поведения уро-

женцев здешних мест позволяют В. В. Леонтьеву легко и быстро завязывать с ними дружбу. Жизненный опыт и полученные с детства навыки местных способов охоты, пространственной ориентации и использования предметов материальной культуры делают его профессиональное восприятие точным и глубоко содержательным. Именно в этом кроется огромная ценность собранных автором среди кереков полевых этнографических материалов.

Помимо традиционных для этнографов приемов сбора информации — бесед, наблюдений, записей фольклорных текстов, В. В. Леонтьев провел также тщательное обследование всей территории прежнего расселения кереков. С этой целью в 1972, 1973 и 1975 гг. он совершил три плавания на моторной лодке вдоль побережья Берингова моря от устья р. Анадырь до южных границ Чукотского автономного (тогда — национального) округа. Всего за три сезона им было обследовано свыше 650 км открытого морского побережья. Только тот, кто имел опыт подобного плавания вдвоем, на маленькой лодке в холодных, штормовых водах Берингова моря, способен оценить необходимые для этого самоотверженность и мужество. Сам автор прекрасно описал свои путешествия в популярной книге «По земле древних кереков» (Магадан, 1976). Их результатом стали ценнейшие описания древних стоянок и жилищ кереков, их культурных мест и святынь, фотографии и археологические находки, приведенные в рецензируемой книге.

Осмотр покинутых керекских поселений, беседы со старожилками позволили В. В. Леонтьеву реконструировать традиционный хозяйственный комплекс кереков. В нем много необычного, особенно по сравнению с хозяйством других приморских народов этого региона, прежде всего ближайших соседей кереков — чукчей, коряков и эскимосов. У кереков были высоко развиты рыболовство и добыча птиц на морских базах. Но зато охоту на морских животных древние керекы вели крайне примитивными способами, далеко отставая здесь от

своих соседей. Они не пользовались поворотными гарпунами и ремennыми сетями; нет никаких свидетельств о наличии у них крупных, многоместных кожаных лодок-байдар, позволявших эскимосам, чукчам и корякам эффективно охотиться в открытом море на крупных морских животных, включая китов.

Эти факты, как справедливо указывает В. В. Леонтьев, подчеркивают своеобразие древней культуры кереков. Одновременно они опровергают распространенный сейчас тезис о древнем эскимосском пласте (или культурном влиянии), уходящем далеко на юг от исторически зафиксированной территории расселения эскимосов. В культуре и языке кереков, топонимике их этнического ареала найдено крайне мало свидетельств о контактах с эскимосами. Значит, старые схемы этнических связей вдоль северных берегов Тихого океана надо трактовать по-новому, с учетом керекских материалов.

Новую трактовку предлагает В. В. Леонтьев и для определения места керекского языка в системе палеоазиатских языков Северо-Востока Азии. Сейчас его принято считать самостоятельным языком, некогда обособившимся от корякского. Автор полагает, что в прошлом у кереков, очевидно, был другой, более древний язык, от которого сохранился лишь небольшой основной словарный фонд, не находящий параллелей у соседних народов. В результате этнических контактов этот язык был ассимилирован корякским, а затем испытал очень сильное влияние чукотского языка. Куда же ведут древнейшие языковые связи кереков — пока неясно, но это чрезвычайно интересная задача для будущих лингвистических исследований.

К сожалению, но о всех сторонах древней культуры кереков сейчас можно собрать равноценную информацию. Особенно это касается их прежнего общественного устройства. Пользоваться здесь трафаретными схемами опасно. Вряд ли можно поэтому говорить, как делает автор, о наличии у керек в прошлом рода, состоящего из больших матриархальных семей, — тем более, что ни

у одного их соседних с керекками народов Северо-Восточной Азии существование родовых институтов этнографическими данными не подтверждается.

Отмечу и нарочитую строгость, «академичность» всего повествования, особенно в сравнении с живым и образным языком художественных и популярных произведений того же автора. Описание непосредственного процесса этнографической работы сжато в книге до минимума. Лишь небольшие ремарки, краткие биографические сведения об «информантах», да очень образные фольклорные тексты позволяют читателю почувствовать бытовые реалии прежней и современной жизни кереков. Жаль, что разделение этнографических описаний на популярные и академические все больше становится правилом для наших публикаций. Это не только обедняет восприятие, но и методически вредно: ли желательное: в работе этнографа слишком многое зависит от внимательного наблюдения, удачно найденного контакта, личного опыта исследователя — «академическим стилем» все эти профессиональные тонкости зачастую просто не воспроизводимы.

Этническая история человечества полна примеров исчезновения больших и малых народов. Эта судьба, безусловно, ожидала бы кереков, окруженных многочисленными, воинственными соседями, лишенными в результате хищнического промысла американских китобоев и японских рыбаков основных источников существования. С приходом Советской власти физическое вымирание кереков было приостановлено, но усилившиеся этнические контакты ускорили процесс ассимиляции. Дети от смешанных браков (а чисто керекских семей сейчас не осталось) записываются чукчами или коряками, переходят на чукотский или русский язык. В 1970-х годах со смертью нескольких кереков старшего поколения ушли из жизни последние знатоки керекского языка и фольклора, хранители старых обычаев, непосредственные свидетели жизни кереков в конце XIX — начале XX в. «По существу, — пишет В. В. Леонтьев, — источник ин-

формаций (о прошлом кереков.— И. К.) исчез» (с. 18).

К счастью, этот печальный вывод не следует понимать буквально. Опыт показывает, что этнографическая информация не исчезает со смертью последних стариков, последних активных носителей родного языка и культурной традиции. Какое-то время дополнительные сведения — пусть и не столь подробные — еще можно будет получить от лиц среднего возраста, представителей других национальностей, близко соприкасавшихся с кереками и, возможно, даже частично знающих их язык и традиции. Сохранят свою ценность фольклорные и лингвистические магнитофонные записи В. В. Леонтьева, которые станут как бы самостоятельным источником информации для новых исследователей. Важные открытия, не-

сомненно, ждут археологов, которые придут на стоянки, оставленные кереками; палеоантропологов (если удастся найти древние керекские кладбища); историков, работающих с документами архивов. Изучение кереков будет обязательно продолжено, потому что, как потомки самого древнего палеоазиатского племени на Северо-Востоке Азии, они представляют огромный интерес для науки.

Но все эти дальнейшие исследования будут неизбежно опираться теперь на монографию В. В. Леонтьева, написанную этнографом на основании широкого личного общения с полноценными носителями уходящей культурной традиции. У подобных книг удивительное нравственное звучание — на их авторов как бы ложится огромная ответственность за сохране-

ние для человечества памяти об одной исчезающей его ячейке. Вспомним для примера книгу советского лингвиста Г. А. Меновщикова «Язык сиренинских эскимосов» (М.— Л., 1964) с описанием ныне практически исчезнувшего языка небольшой группы эскимосов на юго-востоке Чукотки или сборник фольклорных текстов «В память о народе эяки», составленный американским лингвистом М. Крауссом по рассказам одной из последних представительниц этого маленького индейского народа на юге Аляски.

В этот ряд мы должны поставить и рецензируемую монографию В. В. Леонтьева. С появлением таких книг судьба даже самого маленького народа уже никогда не будет считаться перевернутой страницей в истории человечества.

НОВЫЕ КНИГИ

Астрофизика

А. Д. Чернин. ЗВЕЗДЫ И ФИЗИКА. М.: Наука, Главн. ред. физ.-мат. лит-ры (Библиотечка «Квант», вып. 38), 1984, 160 с., ц. 25 к.

Наши дни с полным основанием называют золотым веком астрофизики — открытия в мире звезд следуют одно за другим: в 1963 г. были открыты квазары, в 1965 г. обнаружено реликтовое излучение, двумя годами позже стали известны пульсары, в 70-е годы и в начале 80-х годов последовательно были открыты нейтронные звезды в тесных двойных системах, невидимые короны галактик, видимые сверхсветовые движения¹ в

квазарах. Специалисты надеются, что вот-вот будут обнаружены черные дыры.

Об астрономических открытиях последних лет, о связанных с ними новых физических идеях и рассказывается в этой книге. Читатель найдет в ней не только данные наблюдений и общее описание астрономических явлений, но и элементы астрофизической теории. Как пишет автор в предисловии, «эта теория опирается на универсальные физические законы, установленные в лабораторных экспериментах, но равно справедливые в разнообразных, иногда совершенно необычных и неожиданных условиях мира звезд и галактик. Основные принципы механики, термодинамики и электромагнетизма позволяют искать и успешно находить физическое объяснение многим наблюдаемым фактам астрономии».

Вот лишь один из примеров. Астрофизика, изучающая самые большие объекты, включая и саму Вселенную, сейчас тесно соприкасается с физи-

кой элементарных частиц. На этом стыке рождается новая область фундаментальных исследований, которая и составит, по-видимому, ядро физики будущего. Не случайно книга заканчивается маленькой главкой, в которой поднимается вопрос о физическом механизме Большого взрыва.

Можно сказать, что этот вопрос — одно из важнейших «почему» физики и астрономии. Около десяти лет назад группа ленинградских астрофизиков выдвинула гипотезу, согласно которой начальное состояние Вселенной представляло собой вакуум, который обладал особым свойством — антигравитацией. Сейчас такой «антигравитирующий» вакуум привлекается для объяснения причины космологического расширения. Многое в этом вопросе еще неясно. Ясно лишь одно — золотой век астрофизики только начинается.

Книга написана просто, для чтения ее не требуется подготовки, выходящей за рамки школьных программ по физике и математике.

¹ Об этом явлении см.: Курильчик В. Н. Сверхсветовое расширение компактных радиисточников в квазарах.— Природа, 1974, № 8, с. 42.

Кибернетика

В. И. Варшавский, Д. А. Поспелов. ОРКЕСТР ИГРАЕТ БЕЗ ДИРИЖЕРА: РАЗМЫШЛЕНИЯ ОБ ЭВОЛЮЦИИ НЕКОТОРЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И УПРАВЛЕНИЯ ИМИ. М.: Наука, Главн. ред. физ.-мат. лит.-ры, 1984, 208 с., ц. 65 к.

Не только джазовый ансамбль, играющий в стиле диксиленд, но и симфонические оркестры, исполняющие сложные произведения, могут в некоторых особых случаях обходиться без дирижера (явного или скрытого) и звучать при этом слаженно и артистично. Располагаясь так, чтобы хорошо видеть и слышать друг друга, музыканты стремятся наилучшим образом выполнить свою задачу. Коллективное взаимодействие «порождает» процесс управления. Начав свою книгу с описания этой ситуации на примере Персимфана — Первого симфонического ансамбля Моссовета, В. И. Варшавский и Д. А. Поспелов пишут: «Вопрос о том, как рождается децентрализованное управление в результате коллективного взаимодействия — куда глубже того, который возник у тех, кто стремился понять загадку Персимфана. Ответ на него — одна из задач этой книги».

Авторы объясняют широкому кругу читателей, как реализуется децентрализованное управление в сложных системах, в каких системах централизованное управление неэффективно, чем эволюция искусственных систем (техноценозов) напоминает эволюцию органического мира.

В книге с помощью большого числа аналогий, взятых из разных сфер жизни, рассматриваются структуры связей, ограничения и критерии, характерные для различных видов управления в техноценозах и между ними. В итоге у читателя складывается общее представление о том, почему проблемы управления превратились в «горячие точки» техногенной цивилизации и как эти проблемы решаются.

Краткая библиография, завершающая книгу, позволит заинтересованному читателю

найти работы, которые были использованы авторами в качестве источников примеров и моделей.

Химия

Н. Н. Барашков. ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ: ПОЛУЧЕНИЕ, СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ. Отв. ред. Я. М. Колотыркин, Ю. К. Годовский. М.: Наука, 1984, 129 с., ц. 45 к.

Каким образом полимерные материалы оказываются конкурентоспособными с алюминиевыми и титановыми сплавами — основными материалами самолето- и ракетостроения? Как устроен цельнопластмассовый велосипед, демонстрировавшийся на Международной выставке «Химия-82»? В чем преимущества пластиковых судов перед деревянными или металлическими? Какие полимеры делают непромокаемой крышу Курского вокзала в Москве?

Ответы на все эти и многие другие вопросы можно найти в популярной книге Н. Н. Барашкова. Написанная ясным и доступным языком, она рассказывает о методах и технологиях получения наполненных полимерных материалов (композитах), о преимуществах этих материалов перед ненаполненными полимерами. Автор знакомит широкую читательскую аудиторию с физико-химическими основами упрочнения полимеров путем армирования их неорганическими и органическими наполнителями. Заметное место в книге отводится рассмотрению двух основных путей повышения эффективности взаимодействия полимера с наполнителем: химической модификации поверхности наполнителя и прививке полимера к этой поверхности.

Особого внимания читателей заслуживает глава об областях применения полимерных композитов. Здесь показано, что такие свойства композиционных материалов, как высокие прочностные показатели, устойчивость к высоким и низким температурам, низкая плотность, сделали их весьма перспективными для использования в новой

и новейшей технике. Этот раздел удачно иллюстрирован и содержит как результаты отечественных разработок, так и описание лучших зарубежных достижений.

Что целесообразнее: уничтожать полимерные отходы, все чаще загрязняющие окрестности больших городов, реки и морские побережья, или использовать эти отходы вторично для переработки в полимерные композиты? Ответить на этот непростой вопрос читателю помогут заключительные главы книги. Здесь же обсуждается экономическая целесообразность наполнения полимеров.

Все мы сталкиваемся с полимерными материалами в своей повседневной жизни. Поэтому книга Н. Н. Барашкова должна быть интересна и полезна обширному кругу людей.

В. Ю. Азаров,
кандидат физико-математических наук
Балашиха, Московской обл.

Психология

В. С. Ротенберг, В. В. Аршавский. ПОИСКОВАЯ АКТИВНОСТЬ И АДАПТАЦИЯ. Отв. ред. П. В. Симонов. М.: Наука, сер. «От молекулы до организма», 1984, 192 с., ц. 70 к.

Как организм человека и животного отвечает на неприятную стимуляцию, как он адаптируется к условиям, нарушающим его жизненный комфорт? Эта проблема известна в физиологии последних десятилетий как проблема стресса. Может быть, судьба борьбы организма со стрессом решается на уровне физиологических механизмов, которые включаются в решающий момент? Начиная с 30-х годов, широко распространена точка зрения, что активация симпатической нервной системы мобилизует защитные силы, а парасимпатической — наоборот, ведет к капитуляции перед вредным агентом. А может быть, дело в психологическом факторе, и итог процесса адаптации определяется тем, включается ли аппарат положительных или отрицательных эмоций?

В книге В. С. Ротенберга и В. В. Аршавского выдвигается гипотеза, согласно которой устойчивость организма к стрессу определяется прежде всего наличием активного поведенческого поиска, направленного на решение стоящей перед индивидом задачи. Как физиологические, так и психологические механизмы играют подчиненную роль; например, одна и та же эмоция тревоги может вести к совершенно разным последствиям в зависимости от того, связана ли она с целенаправленной поведенческой активностью или с противоположным состоянием, которое авторы называют «отказом от поиска».

С этих же позиций анализируется специфическая роль сна в системе адаптации. Оказывается, что «быстрovolновой сон», тесно связанный со сновидениями, является одним из последних резервов психофизиологической адаптации: он снимает последствия «отказа от поиска», стимулируя направленную активность в последующем бодрствовании. В связи с проблемой адаптации авторы рассматривают также вопрос о взаимоотношении полушарий головного мозга.

В книге не все убедительно, но вдумчивому читателю она даст возможность поразмыслить о многом.

Б. И. Кочубей,
кандидат психологических наук
Москва

ительное назначение. Совершая вместе с читателем экскурсию по месторождениям камня у нас и за рубежом, автор особо останавливается на технологии добычи камня, ибо способ разработки месторождений может хорошо или плохо влиять на свойства вырубленных блоков и плит.

Читатель познакомится с любопытными фактами из истории создания ряда памятников Москвы и Ленинграда, выполненных из монолитов — огромных цельных кусков гранита, базальта и других горных пород, а также с замечательными каменными постройками и скульптурами, которые В. П. Петров изучал в других странах — на Кубе в Индии, Италии.

Большое внимание уделяет автор описанию химического состава и свойств камней, а также способов обработки, повышающих декоративность и надежность каменных изделий.

Нет сомнения, что книга не только будет прочитана многими, независимо от их профессии, и при этом доставит удовольствие, но и поможет специалисту увидеть и понять красоту и другие достоинства камня.

В. В. Свиридов,
кандидат геолого-минералогических наук
Ростов-на-Дону

География

фического факультета МГУ. «На ее страницах,— говорят они в обращении «К читателю», — мы попытаемся ответить на вопросы, чем занимается современная география, какие проблемы она решает, каковы ее роль и место в общей системе научного познания мира. Мы расскажем об истории географии, истории географического открытия Земли и истории географических идей, тесно связанных с именами выдающихся ученых и мыслителей, путешественников и мореплавателей».

Дифференциация географической науки привела к выделению из нее частных дисциплин, таких как геоморфология, гидрология, гляциология, климатология, биогеография и др. Значительное место в книге отведено объектам их изучения: рельефу Земли, океану и водам суши, климату, природным льдам и почвам, живой природе. Рассказывается также об антропогенном воздействии на природу, охране и улучшении природной среды.

Познакомившись с начальной книгой цикла, читатели с нетерпением будут ожидать его продолжения.

Геология

В. П. Петров. СЛОЖНЫЕ ЗАГАДКИ ПРОСТОГО СТРОИТЕЛЬНОГО КАМНЯ. М.: Недра, 1984, 150 с., ц. 30 к.

В наше время мы чаще говорим и пишем о синтетических материалах, незаслуженно забывая простой камень, встречающийся у нас, так сказать, под ногами и обладающий неповторимой природной красотой и долговечностью. В. П. Петров рассказывает о том, в чем причина прочности того или иного камня — гранита, базальта, известняка, мрамора, туфа, сланца, и объясняет их стро-

МИР ГЕОГРАФИИ: ГЕОГРАФИЯ И ГЕОГРАФИ. ПРИРОДНАЯ СРЕДА. М.: Мысль, 1984, 367 с., ц. 9 р. 40 к.

Такую книгу трудно не взять в руки, а взяв — закрыть. В ней сразу же привлекает все: и необычный удлиненный формат, и блестящая мелованная бумага, и буйство красок в разножанровых, крупных и мелких иллюстрациях, которые подобраны и расположены так, чтобы раздвинуть содержательные и эмоциональные границы текста.

Этой великолепно оформленной и роскошно изданной книгой издательство «Мысль» открывает новый цикл — «Мир географии». Она написана коллективом сотрудников геогра-

Как котенка в воду

А. Л. Рылов, А. Л. Хаесин
Москва

Однажды к нам пришел студент и сказал, что решил посвятить себя науке. Сначала ему поручили самую черную работу, и лишь в июне, когда вся лаборатория разъехалась по отпускам, Ивану Ивановичу представился случай проверить на нем свой излюбленный метод. А заключался он в том, что новых молодых сотрудников профессор бросал как в воду котят, предоставляя им почти полную самостоятельность в работе, и, наблюдая потом, как они выплывают, делал выводы.

Раздумывая, какую дать студенту работу, вспомнил профессор давно увлекшую его загадку, отчего так неуживчивы кошка с собакой. Вынужденный заниматься иными биологическими проблемами и не решаясь предложить такую тему аспиранту, он с удовольствием дал ее студенту.

Вскоре профессор уехал, а когда вернулся, нашел на своем столе замусоленную тетрадь. Профессор открыл ее и стал читать:

Протоколы экспериментов по изучению врожденной неприязни между кошкой и собакой, выполненных студентом 3-го курса Петровым П. П.

Согласно литературным данным, агрессивные влияния на собак оказывают следующие факторы кошек: запах, звуковые сигналы, внешний вид, убегающие. Изучение роли каждого из них и явилось целью настоящей работы.

Опыты проводились на беспородных половозрелых самцах, до эксперимента содержащихся в комнатах студенческого общежития и выданных владельцами во временное пользование экспериментатору: на собаке Филе весом 8,3 кг и коте Гвидоне весом 2,5 кг.

5 июня.

10 ч 15 мин. Для маскировки природного запаха кота Гвидона на его шерсть нанесены найденные в лаборатории духи «Нефертити» в дозе 3 мл.

10 ч 30 мин. В экспериментальную комнату доставлен самец Филля. При виде кота он осуществил реакцию лая, рычания и попытки покусания, в ответ на что Гвидон издал серию шипящих звуков и принял агрессивно-оборонительную позу под столом м. н. с. Селезневой Е. А. В этот момент был включен магнитофон и производилась регистрация лая, шипения, урчания, подвывания и скрежета когтей.

10 ч 50 мин. В комнате появилась м. н. с. Селезнева Е. А., по отношению к которой Филля продемонстрировал агрессивный акт, завершившийся двусторонним повреждением штанин м. н. с. Селезневой Е. А., хотя до этого относился к ней дружелюбно.

Выводы: 1. Натуральный запах кота не является стимулом нападения для собак, поскольку даже после маскировки его духами кот подвергся атаке. 2. С помощью указанных духов, предарительно нанесенных на кошачью шерсть, у собак можно выработать враждебный рефлекс по отношению к человеку, употребляющему тот же вид косметики.

Поскольку маскировка природного запаха Гвидона не уменьшила агрессивность собаки, был отключен следующий раздражитель, исходящий от кота — звуковой.

10 июня с. г. мною была предпринята экспедиция в зоопарк на предмет прослушивания вокализации разных животных с целью подбора оптимального типа звукоиспускания, способного отпугнуть собаку. В ходе экспедиции выяснилось, что в этих целях может быть надежно использован рев, издаваемый львом (*Panthera leo*) при виде служителя, приносящего пищу. Вышеописанное реверие зафиксировано на магнитофонную

приставку Р16 к ЭВМ «Nord» (США), размером 10×5×2 см, которая позже привязывалась на спину Гвидона с помощью мягких ремешков.

11 июня.

12 ч 20 мин. Кот Гвидон, оборудованный магнитофоном, помещен на столе м. н. с. Селезневой Е. А., после чего приведен самец Филля. Немедленно включен голос льва со звуковой мощностью 1 дБ, в ответ на что кот впал в состояние тонической неподвижности, ранее наблюдавшейся только у перепелов при виде ястреба (И. Андерс, 1969), а собака попыталась осуществить избегательную реакцию через фрамугу.

12 ч 25 мин. Кот Гвидон пришел в состояние панической двигательной активности и через открытую им дверь выбежал в коридор, причем все издаваемые им звуки полностью заглушались фиктивным ревом льва. Если на неподвижного кота кобель реагировал слабо, то кот в состоянии двигательного-эмоционального возбуждения вызвал яростный лай и преследование.

12 ч 30 мин. Ориентируясь по голосу льва, направился в конференц-зал института, где обнаружил кота на верхней планке экрана для демонстрации слайдов и собаку на столе президиума, пытающуюся достать кота. Голос льва не отпугивал Филлю, а, наоборот, усиливал его злобность. С появлением специалистов Швеции и Японии, а также представителей дирекции и других участников международного семинара «Охрана животных в пустыне» кот и собака возвращены в лабораторию.

Выводы: 1. Так как маскировка природного голоса кота не предотвращает враждебности между ним и собакой, следует считать, что вокализация кота не является стимулом собачьей агрессии. 2. Как показали проведенные исследования, ни запахи,

ни звуки котов не являются факторами нападения со стороны собак. Однако под вопросом остается такая важная сенсорная система, как зрительная.

Для проверки данной гипотезы был изготовлен специальный комбинезон для Гвидона из оранжевой плотной ткани, призванный неузнаваемо изменить его внешность, что достигалось также оборудованием комбинезона дополнительной лапой, лисьим хвостом и рогами.

13 июня

10 ч 15 мин. Кот, одетый в комбинезон, находится посредине комнаты, интенсивно кувыряясь, что полностью соответствует движениям, описанным К. Питерсом (1972), наблюдавшим брачный ритуал у сумчатых котов. Причина такого поведения непонятна.

10 ч 30 мин. Привел собаку и спустил с поводка. Она вцепилась в маскировочный хвост и перегрызла его.

10 ч 32 мин. Кот прыгнул на стеллаж и при этом задел рогами аквариум, который перевернулся на ящик с химической посудой и реактивами. В результате на полу лаборатории началась химическая реакция, проходившая с выделением тепла и появлением запаха. Из-за задымленности помещения наблюдение за животными стало невозможным. Меж тем возросшая интенсивность химической реакции заставила воспользоваться огнетушителем. В это время Филя непрерывно атаковал кота Гвидона, что завершилось извлечением последнего из ком-

бинезона. Покрытые пеной животные постепенно прекратили схватку и приступили к вылизыванию шерсти.

Выводы: 1. Внешний вид кота не является самостоятельным фактором агрессивности собак. 2. Нанесение пены из огнетушителя на волосную поверхность этих животных оказывает мощный антиагрессивный эффект.

Итак, результаты проведенных опытов показали, что обонятельные, звуковые и зрительные сигналы, исходящие от кота, сами по себе не возбуждают драчливости собак. По литературным данным (М. Пит, 1977), таким возбудителем может быть избегающее поведение кошек, вызывающее у собак «рефлекс преследования дичи». В связи с этим целью дальнейших опытов стало изучение взаимоотношений Филя и Гвидона при отсутствии у последнего избегающего поведения.

Опыту благоприятствовало то, что 15 июня кот Гвидон занял постоянную позицию под столом м. н. с. Селезневой Е. А. (лежа на спине), откуда не выходил 16 и 17 июня. Отмеченное поведение не было вызвано болезнью животного, поскольку оно регулярно мурлыкало, что, согласно монографии Т. Болдуина (1956), служит признаком комфортного состояния. Скорее всего оно объяснялось появлением стаи мышей в ящиках стола м. н. с. Селезневой Е. А., поедающих оставленные ею продукты. Факт присутствия мышей подтверждался многоголосым попискиванием.

18 июня.

10 ч 15 мин. Воспользовавшись неподвижностью кота, приступил к проведению опыта. Привел в комнату кобеля Филю и спустил с поводка. Филя сразу бросился к столу и с громким лаем принялся атаковать кота.

10 ч. 16 мин. Наблюдалась яростная контратака со стороны Гвидона, выскокившего в состоянии взъерошенности и воя из-под стола и погрузившего когти обеих лап в кожную поверхность носа собаки, после чего животные в быстром темпе покинули лабораторию, причем кот агрессивно преследовал собаку.

10 ч 21 мин. Во время отсутствия кота и в целях уточнения причин его неподвижности обследовал участок пола между столом и батареей. В тупых м. н. с. Селезневой Е. А. обнаружил пять слепых пищущих котят.

Выводы: 1. Кот Гвидон является кошкой, притом вполне половозрелой. 2. Неподвижное состояние кошки не защищает ее от собачьей враждебности.

Обобщая результаты опытов, можно предположить, что ни один из исходящих от котов раздражителей по отдельности не является критическим фактором, провоцирующим агрессивность собак. Таковым свойством обладает, по-видимому, лишь целостный образ кота.

*

Протокол завершала ученческая старательная подпись Петрова. Профессор Иван Иванович протер очки и пробормотал: — А выплыл ведь... котенок!

В номере использованы фотографии БАЛОДИСА Л. К., ИВАНОВА С. Н., КОТЛОМИНА И. А., ЛЮБИНСКОГО Е. Г., ПАНИЧЕВА А. М., САККА В. Е., СЕРГЕЕВА В. Н.



— 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.

Художник П. Г. АБЕЛИН
Художественные подкаторы:
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

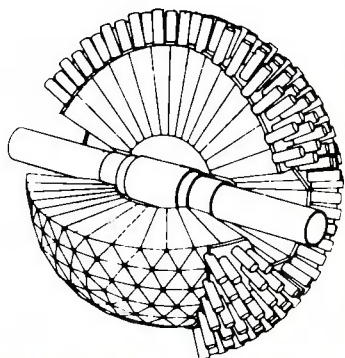
Корректоры:
Э. А. ГЕОРГАДЗЕ, Т. Д. МИРЛИС

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука»

Адрес редакции:
117049, Москва, ГСП-1
Мароковский пер., 26
Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 27.06.85.
Подписано к печати 8.08.85.
Т—11673.
Формат 70×100¹/₁₆.
Офсет.
Усл.-печ. л. 10,32.
Усл. кр.-отт. 1428,7 тыс.
Уч.-изд. л. 15,3.
Бум. л. 4.
Тираж 53 370 экз. Зак. 1809.

Ордена Трудового Красного Знамени Чеховский полиграфический комбинат ВО «Союзполиграфпром» Государственного комитета СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.
142300 г. Чехов Московской области



В следующем номере

Прошло всего 10 лет, как были открыты новые частицы, которые во многом сродни обычным атомам, но состоят из кварков. Они помогают изучать самые мощные силы природы — так называемые цветные силы.

Дремин И. М. Кварконий — атом из кварков.

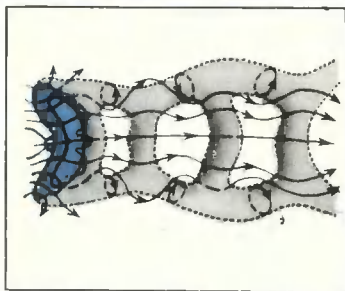


Нильс Бор олицетворяет историю стремительного и триумфального проникновения физики в тайны строения атома. Он создал крупнейшую интернациональную научную школу и был одним из первых крупных ученых, всецело посвятивших себя борьбе за мир.

«НАИВЫСШАЯ МУЗЫКАЛЬНОСТЬ В ОБЛАСТИ МЫСЛИ» К 100-летию со дня рождения Нильса Бора.

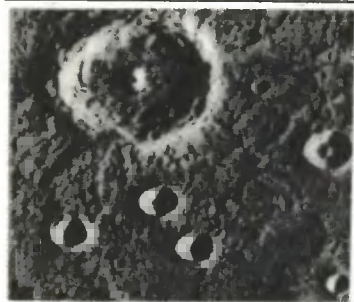
Резеберг У., Сачков Ю. В. На заре атомного века.

Гейзенберг В. Прорыв в новую землю.



Недавно удалось увидеть след, который оставляет в воздухе летящее насекомое. Хотя это лишь качественная картина, отражающая взаимодействие насекомого с воздушным потоком, на ее основе можно дать и количественную характеристику следа, а в будущем, сравнив следы разных насекомых, очевидно, удастся проследить эволюцию полета.

Бродский А. И., Иванов В. П. След летящего насекомого.



Поскольку ударно-метеоритное происхождение лунных кратеров уже не вызывает сомнений и есть все основания считать метеоритные кратеры повсеместным явлением в Солнечной системе, совершенно необоснованными представляются попытки некоторых геологов отрицать космическую природу этих структур.

Иванов Б. А., Базилевский А. Т. Метеоритные кратеры.



У земледельческих народов Америки есть много мифов о культурных растениях. Один из них — миф о рубке «мирового дерева», поднявшегося от земли до неба, на ветвях которого висели плоды этих растений. Чаще всего такое дерево отождествлялось с маниоком — индейским «хлебом», превосходящим по калорийности многие продовольственные культуры.

Березкин Ю. Е. Маниоковое дерево: происхождение тропического земледелия в Америке.

Цена 80 к.

Индекс 70707

