

ISSN 0012-874X

11 ПРИРОДА

1984



Ежемесячный
популярный
естественнонаучный
журнал
Академии наук СССР



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
академик
Н. Г. БАСОВ

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

Доктор физико-математических наук
Е. В. АРТЮШКОВ

Академик
Д. К. БЕЛЯЕВ

Член-корреспондент АН СССР
Р. Г. БУТЕНКО

Доктор географических наук
А. А. ВЕЛИЧКО

Член-корреспондент АН СССР
В. А. ГОВЫРИН

Член-корреспондент АН СССР
И. Р. ГРИГУЛЕВИЧ

Член-корреспондент АН СССР
Г. А. ЗАВАРЗИН

Член-корреспондент АН СССР
В. Т. ИВАНОВ

Доктор физико-математических наук
Н. П. КАЛАШНИКОВ

Доктор физико-математических наук
С. П. КАПИЦА

Академик
Б. М. КЕДРОВ

Доктор физико-математических наук
И. Ю. КОБЗАРЕВ

Кандидат физико-математических наук
А. А. КОМАР

Академик
Н. К. КОЧЕТКОВ

Доктор геолого-минералогических наук
И. Н. КРЫЛОВ

Доктор философских наук
Н. В. МАРКОВ

Доктор экономических наук
В. А. МЕДВЕДЕВ

Ответственный секретарь
В. М. ПОЛЫНИН

Доктор исторических наук
П. И. ПУЧКОВ

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

Доктор философских наук
Ю. В. САЧКОВ

Заместитель главного редактора
доктор биологических наук
А. К. СКВОРЦОВ

Академик АН УССР
А. А. СОЗИНОВ

Академик
В. Е. СОКОЛОВ

Доктор геолого-минералогических наук
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора
кандидат технических наук
А. С. ФЕДОРОВ

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

Член-корреспондент АН СССР
В. Е. ХАИН

Член-корреспондент АН СССР
Р. Б. ХЕСИН

Доктор физико-математических наук
А. М. ЧЕРЕПАЩУК

Доктор физико-математических наук
В. А. ЧУЯНОВ

На первой странице обложки. Фрагмент кристалла пирита — типичной колчеданной руды. Увел. 3,5. См. в номере: Вахрушев В. А. Железный колчедан. Фото В. Н. Машатина.

На четвертой странице обложки. Самка европейского тювика (*Accipiter brevipes*). См. в номере: Белик В. П. Ястреб-тювик. Фото Б. А. Нечаева.

В НОМЕРЕ

- Седов Л. И. Научные теории, модели и реальность** 3
Возможно, не все ученые-естественники ясно осознают, что научные теории и модели непосредственно не оперируют с реальностью самой по себе, а имеют дело с идеализированными объектами. При идеализации происходит утрата изначального богатства конкретных представлений о реальности, но обретается четкость исходных «кирпичиков» теории. За эту четкость приходится платить неизбежной ограниченностью применения любой естественнонаучной теории.
- Петрянов-Соколов И. В., Сутугин А. Г. Астрозоли — новый объект физических и астрономических исследований** 11
Поведение пылевых частиц в космическом пространстве (астрозолей) существенно отличается от их поведения в атмосфере (аэрозоль). Продукты вулканизма на планетах, кольца Сатурна, хвосты комет, продукты сгорания топлива в двигателях космических аппаратов — примеры естественных астрозолей. Для их изучения поставлены эксперименты по искусственному созданию астрозолей с помощью геофизических ракет.
- Батурин Г. Н. Железомарганцевые конкреции в океане и биос** 19
Возрождается гипотеза о решающей роли морских организмов в формировании железомарганцевых конкреций.
- Березинский В. С. Объединенные калибровочные теории и нестабильный протон** 24
Нет оснований считать протон абсолютно стабильной частицей — к такому выводу приводят современные теории, объединяющие фундаментальные взаимодействия. Наблюдение распада протона послужило бы прямым подтверждением этих теорий.
- Мирли И. Г. Станет ли Байкал океаном?** 39
Почему раздвигаются огромные литосферные плиты? Как образуются океаны? Подойти к решению этих проблем позволяет изучение протяженных глубоких впадин — Байкальско-Камчатского и других континентальных и океанических рифтов.
- 16-я конференция Федерации европейских биохимических обществ** 48
Интервью с академиком Ю. А. Овчинниковым.
- Вахрушев В. А. Железный колчедан** 52
Элементы-примеси в типичной колчеданной руде — пирите — являются чуткими индикаторами как условий образования минералов, так и рудоносности пород.
- Белик В. П. Ястреб-тювик** 54
Эта птица, занесенная в списки 2-го издания «Красной книги СССР», по новым данным, оказалась совсем не редкой.
- Соколов М. Н. Природа и человек в искусстве Возрождения** 57
Скалы на картинах А. Мантеньи и А. Дюрера обнаруживают сходство с человеческими лицами, а арбузы у И. Босха покрыты сетью кровеносных сосудов. Таким образом в эпоху Возрождения утверждалась мысль о взаимопроникновении, даже тождестве мира природы и мира человека.
- Еськов Е. К. Микроклимат пчелиного гнезда** 69
Поведение пчелиной семьи обеспечивает ей необходимые жизненные условия в гнезде независимо от климатических зон.
- Любарский Ю. Э. Эффект Сюняева — Зельдовича подтвержден экспериментально** 76
Наблюдения английских и американских астрономов подтвердили эффект, предсказанный Р. А. Сюняевым и Я. Б. Зельдовичем: яркость реликтового фона в направлении на скопления галактик действительно уменьшается.
- Цигельницкий И. И. Воздушный буфер Антарктиды** 78
Несмотря на колебания температуры на Земле, размеры гигантского Антарктического ледника остаются почти неизменными. Стабилизатором оледенения, по-видимому, является нижний слой атмосферы с необычными метеорологическими характеристиками.

- Гольденберг Л. А.** Сорок ячменных зерен урожая 1735 г. (из истории освоения Дальнего Востока) **82**
В письме, присланном в Сенат в 1736 г. с Дальнего Востока, сохранились ячменные зерна, которые свидетельствовали о возможности вызревания в этом регионе злаковых культур.
- Карасик А. М., Сочеванова Н. А.** Карта палеомагнитных аномалий Мирового океана **84**
Такая карта позволяет определить возраст океанического дна, судить о прошлой и современной конфигурации литосферных плит в океане и их перемещении.
- Иориш Ю. И., Туробов Б. В.** Лозоискательство без мистики **86**
Существует ли лозоискательство — обнаружение скрытых водных источников, залежей полезных ископаемых, подземных пустот и т. п. с помощью лозы или рамки, поворачивающейся в руках? Этот вопрос остается нерешенным на протяжении многих столетий.
- ЗАМЕТКИ, НАБЛЮДЕНИЯ**
- Гиляров М. С.** Массовая гибель рифообразующих кораллов **97**
Пономаренко Е. В., Пономаренко С. В. «Память» почвы **98**
Хохлов А. Н., Герасимов С. Н. Фламинго залетают в Ставрополье **98**
Скопцов В. Г. Аисты в Тамбовской области **99**
- НОВОСТИ НАУКИ** **100**
«Союз Т-12» (100) • Новые данные о кольцах Юпитера и Сатурна (101) • Можно ли наблюдать радиолинии тяжелых элементов? (102) • Гравитационное излучение от двойной звездной системы подтверждено (102) • Комета Галлея «мигает» (103) • Необычный метеорит (103) • Осмий подтверждает космическую катастрофу (104) • Мощный технологический импульсный CO₂-лазер (104) • Голограммы регистрируются на оконном стекле (105) • Томограф для деревьев (105) • Пироэлектрические свойства полидиметилсилоксана (106) • Класпол — новый металлополимер (106) • Небиологическая матрица «узнает» мономер (107) • Противоопухолевая эффективность бисдиазокетонов (107) • Конструирование вакцин методом геной инженерии (108) • Переносчики генов для растений (108) • Имобилизованные микроорганизмы синтезируют проинсулин (109) • Бактерии защищают от обледенения (109) • Перспективы лечения эмфиземы легких (109) • Дефекты ДНК при наследственных заболеваниях (110) • Электрофорез и систематика (110) • Хронофармакология антибиотиков (111) • Ген ДНК-лигазы бактериофага T4 (111) • Коллаген, возраст и сердце (111) • Модель спорообразования у микробов (112) • Еще один нейроспецифический белок из мозга человека (112) • «Строительные блоки» жизни — из космоса? (112) • Научение человека при отсутствии коры головного мозга (114) • Индивидуальные навыки у птиц (114) • «Диалекты» тюленьего языка (115) • Симбиоз рыб и кораллов (115) • Проблемы освоения океанских сульфидных руд (115) • Первое геологическое описание о-вов Диего-Рамирес (117) • Советский научный проект МАССА (117) • Прогноз уровня Мирового океана (117) • Влияние Луны на земные осадки (118) • Арктические ураганы (118) • Наклон земной оси и жизнь в океане (119) • Изотопная хронология жизни на Земле (119) • Динозавры из провинции Сычуань (120) • Почему угасла мегалитическая культура острова Пасхи? (120)
- РЕЦЕНЗИИ**
- Созинев А. А.** На пути к всеобщей теории иммунитета (на кн.: С. Н. Румянцев. Конституциональный иммунитет и его молекулярно-экологические основы) **121**
Флоренский П. В. Об эволюции культуры камня (на кн.: А. М. Викторова, Л. А. Викторова. Природный камень в архитектуре) **123**
- НОВЫЕ КНИГИ**
- Ивин А. А.** По законам логики (10) • Уилл Ф. Семья Солнца: планеты и спутники Солнечной системы (124) • Биологические исследования на орбитальных станциях «Салют» (124) • Зирка Т. М. Популярная фитовирусология (125) • Мусия Я., Новакова О., Куниц К. Современная биохимия в схемах (125) • Зейболд Е., Бергер В. Дно океана. Введение в морскую геологию (125) • Картография (125) • Человек и окружающая его среда (126) • Алексеев А. И. Геннадий Иванович Невельской (1813—1876) (126) • Вяльцев А. Н. Открытие элементарных частиц. Нуклоны P, N и антинуклоны \bar{P} , \bar{N} (126)
- В КОНЦЕ НОМЕРА**
- Бондарев Л. Г.** Сигареты и вулканы **127**

Научные теории, модели и реальность

Л. И. Седов



Леонид Иванович Седов, академик. Заведующий кафедрой гидродинамики механико-математического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Специалист в области механики. Автор многих оригинальных работ, книг и брошюр, в том числе научно-популярных. Лауреат Государственной премии СССР, премий имени М. В. Ломоносова и С. А. Чаплыгина АН СССР и ряда международных премий. Удостоен золотой медали им. А. М. Ляпунова АН СССР. Герой Социалистического Труда.

НАУЧНЫЕ МОДЕЛИ

В науке по ее существу всегда приходится иметь дело с моделями. Вне их конкретных классов бессмысленно говорить об основных понятиях теории и закономерностях природы.

Что такое моделирование? Это метод исследования объектов познания по их моделям. Процесс моделирования включает в себя замену действительных или мысленно определенных объектов-предметов и соответствующих процессов другими объектами-предметами и процессами, действительными или связанными с процедурами идеализации и абстрагирования. Моделирование помогает описывать свойства и отношения объектов в окружающем нас мире и позволяет предсказывать многочисленные природные явления, проектировать и реализовывать творения человеческого разума. В математике на основе разнообразных обобщений, аксиом и постулатов вводятся различного рода идеальные объекты, операции и соотношения, имплицитно содержащие в себе особые связи, свойства и теоремы, вскрываемые математическими рассуждениями.

Развитие математики, механики и науки вообще основано на введении разного рода определений, понятий и функций, которые часто имеют универсальный характер

в том смысле, что одни и те же определения и понятия используются во многих математических или физических моделях и теориях. Наука оперирует разнообразными объектами, такими как точка, пространство и время, линия, поверхность, система отсчета, материальная точка, а также равновесие, обратимость или необратимость, различного рода процессы, события, состояния и т. д. Подразумевается, что в идеале все необходимые понятия и отдельные модели должны быть определены на рациональной основе точно¹, однако в естественных науках реально достижимо соответствие теорий действительности с удовлетворительной для жизненных потребностей людей степенью приближения. Любые модели, отражающие явления природы, всегда приближительны, что выражает относительность и конкретность научной истины. Это утверждение справедливо как для макроскопических объектов и событий, так и для микроскопических. Нельзя считать правомерными надежды на построение исчерпывающих теорий, полностью завершающих задачи познания природы.

¹ См. напр.: Седов Л. И. Механика сплошной среды. Т. 1, II. М., 1983, 1984.

Однако модели можно уточнять, совершенствовать и наряду с усложнениями можно находить единые и в этом смысле более простые их основы². Как известно, предположения о существовании единых «простых» основ опытных наблюдений увенчались многими поразительными достижениями (например, подтверждением гипотезы об атомном и молекулярном строении вещества, сведением теплоты к механическому движению и взаимодействию, объединением электромагнетизма и оптики, геометризацией гравитационных полей и т. д.).

Чрезмерно детальное описание явлений просто невозможно практически и к тому же совсем не нужно. Для понимания устройства объектов и событий в окружающем нас мире совсем не требуется знать (с точки зрения жизненных интересов людей) детальные пертурбации каждого из всех существующих атомов, каждой элементарной частицы, каждого листика в лесу и т. д. Вместе с этим необходим углубленный анализ некоторых локальных проблем, без решения которых невозможно в принципе понять и описывать макроскопические и глобальные явления различных масштабов.

При построении разнообразных моделей используются некоторые универсальные соотношения типа законов сохранения, постулатов о пространстве и времени, о ковариантности (инвариантный вид записи в разных системах координат) физических уравнений и т. п., выражающие, в свою очередь, результаты общих свойств опытных наблюдений. Следует специально подчеркнуть, что так как все модели отражают действительность приближенно, то в каждом классе моделируемых явлений можно указать разумную точность для измеряемых величин. Например, расстояние между городами нет необходимости определять с точностью до миллиметра, а в небесной механике бесмысленно учитывать силы, обуславливающие движение планет, с точностью до килограмма. В некоторых же случаях при рассмотрении явлений взаимодействия разных систем можно пренебречь и универсальными законами. Так, для летящего воробья земное притяжение очень важно, а гравитационную силу противодействия воробья в теории космического

движения Земли на практике учитывать не надо, так же как и многие другие внешние малые силы. Таким образом, удовлетворительная теория движения Земли в данном случае строится без учета закона о действии и противодействии.

Построение упрощенных моделей можно нередко осуществлять, отбрасывая второстепенные эффекты в более «точных» моделях, например при переходе от трехмерных теорий к двумерным или одномерным и т. п. Однако во многих случаях, например в теории оболочек, проблема пренебрежения второстепенными членами в уравнениях непроста, и суть исследования состоит в оценке, с точки зрения трехмерных моделей, точности разных двумерных моделей, число которых, вообще говоря, велико. Существуют такие постановки задач и примеры, когда это все же можно сделать.

Тем не менее в общем случае, когда трехмерная модель сугубо приближенная, степень соответствия действительности ограничена точностью описания исследуемого вопроса. Нужно иметь в виду, что природа объектов, событий и процессов никогда во всех подробностях не известна, поэтому нет абсолютно точных общих сложных теорий, которые можно упрощать применительно к конкретной задаче. В прошлом физики долгое время при построении вполне приемлемых моделей физических объектов пренебрегали молекулярной структурой вещества, квантовыми эффектами и даже не могли оценить погрешность, связанную с отсутствием такого знания.

Построение моделей можно производить и иначе, сразу вводя модельные определяющие параметры, модельные взаимодействия и виды модельных функций (в том числе термодинамических). При этом основным критерием приемлемости устанавливаемых моделей служит, когда это возможно, проверка опытом, а в некоторых случаях — математическая оценка известных погрешностей при упрощении исходных более подробных теоретических моделей.

Задача нахождения адекватных каждому уровню познания моделей и пределов их справедливости составляет основное содержание физических исследований и теоретического разрешения различных технических проблем³. Всякое моделирование включает в себя идеализацию свойств объ-

² Понятие о простоте довольно относительно. В частности, то что элементарно и удивительно просто для образованных математиков, может оказаться совсем неясным и непостижимым людям, чуждым математике.

³ Нередко можно услышать, что в физике не требуется заниматься утомительными и громоздкими доказательствами теорем о существ-

ектов, характеристик, взаимодействий и идеализированную постановку проблемы. Вместе с этим в принципе всегда можно указать примеры несоответствия конкретной модели наблюдениям.

ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОТСЧЕТА

Рассмотрим совокупность различных идеализированных представлений, содержащихся в понятии инерциальной системы отсчета и границы их применимости в разнообразных физических моделях. В ньютоновской механике исходной теоретической основой является постулат о существовании инерциальной системы отсчета в евклидовом трехмерном пространстве, а время рассматривается как абсолютная скалярная характеристика, одинаково возрастающая в направлении будущего для всех физических объектов, независимо от их свойств и состояний. Фундаментальный в механике первый закон Ньютона, связанный с такого рода идеализацией, имеет в некоторой степени модельный смысл и, строго говоря, нельзя указать примеры, в которых имеется точное соответствие действительности с известной идеальной формулировкой этого закона. Нельзя указать физические материальные индивидуализированные⁴ точки, не подверженные действию отличных от нуля сил и движущиеся сколь угодно долго с постоянной скоростью. К этому можно добавить, что употребляемые в моделях ньютоновской механики математические понятия евклидова пространства и универсального скалярного времени находятся в прямом противоречии с некоторыми фундаментальными опытами. Такое поло-

жение дел инспирировало развитие теории относительности, изменение фундаментальных идеальных представлений о пространстве и времени.

Тем не менее использование в механике ньютоновских постулатов целесообразно при решении многих познавательных и технических проблем, а также для дальнейшего развития универсальных положений в уточненных моделях, которые в свою очередь для разных классов движений могут нуждаться в дальнейших усовершенствованиях.

В земных вычислениях ньютоновскую инерциальную систему отсчета можно получить с большой точностью, поместив начало декартовой системы координат в центр масс Солнечной системы и направив оси координат на «неподвижные» звезды. Инерциальной будет также любая другая система отсчета, все точки которой движутся поступательно с постоянной по величине и направлению скоростью относительно введенной выше солнечной. Рассмотрим основание для такого введения инерциальных систем отсчета. Согласно астрономическим данным, центр масс Солнечной системы описывает за 250 млн лет относительно центра масс нашей Галактики траекторию с колоссальным радиусом кривизны, которую в течение довольно больших интервалов времени можно в пределах, достаточных для точности моделирования земных событий, считать практически прямолинейной, а скорость движения центра масс Солнечной системы постоянной и, следовательно, ускорение — не отличимым от нуля. Что касается галактической инерциальной системы, то ее движение с еще большей точностью будет прямолинейно-поступательным и характеризуется совершенно ничтожными ускорениями, не выходящими при моделировании земных процессов за совершенно несущественные малые пределы.

В специальной (СТО) и общей (ОТО) теориях относительности пространство — время четырехмерно. Для данной индивидуализированной точки вводится понятие мировой линии как ее траектории в четырехмерном континууме точек, понятие о четырехмерном векторе ее скорости и о векторе ее ускорения, которые абсолютны и являются инвариантными геометрическими характеристиками мировой линии, причем вектор скорости представляет собой четырехмерный единичный вектор, направленный по касательной к мировой линии, а вектор ускорения, перпендикулярный в каждом положении точки к ее ско-

новании решений для сформулированных там математических задач.

Обычный довод: «Ведь мы и так знаем, что рассматриваем действительное явление, которое реально существует». Такой довод несостоятелен, так как фактически мы имеем дело только с моделями, соответствующими действительности приблизительно и в ограниченных пределах, и поэтому здесь могут отсутствовать решения или единственность решений.

Существование решений — важный критерий допустимости принятой постановки модельной задачи. С другой стороны, если в данной математической формулировке нет решения, то возникает вопрос о возможном модельном приближении или об изменениях в постановке физических условий.

⁴ Индивидуализированная точка в механике — это точка, которой присвоены какие-либо характеристики, например номер, значение начальных координат и т. п., в частности точка, рассматриваемая как образ участвующего в событиях фиксированного атома.

рости, направлен по главной нормали к мировой линии и равен по величине ее главной кривизне. В каждой точке мировой линии четырехмерного пространства событий вектор ускорения расположен внутри соответствующего малого объема трехмерного элемента пространства в этой точке.

Любопытно, что результат показания акселерометра представляет собой не что иное, как величину инвариантного трехмерного пространственного вектора абсолютного ускорения⁵ в теориях относительности — $\vec{a}_{\text{аксел}}$.

При свободном движении малых пробных частиц в ОТО из определений этой теории исключаются и силы инерции, и силы тяжести, которые сводятся к проявлениям геометрических свойств пространства. Тогда пробные частицы в ОТО совершают инерциальное движение с четырехмерным ускорением, равным нулю, по геодезическим мировым линиям (прямым в искривленном пространстве). Однако, с точки зрения ньютоновской механики, это движение происходит ускоренно по кривым в евклидовом пространстве и поэтому неинерциально.

В силу основного уравнения

$$\vec{a}_{\text{абс}} = \vec{g} + \vec{a}_{\text{аксел}}$$

где $\vec{a}_{\text{абс}}$ — ускорение относительно инерциальной системы отсчета по Ньютону, \vec{g} — переменное ускорение силы тяготения, следует, что в ньютоновской механике при $\vec{a}_{\text{абс}} = 0$ верно равенство $\vec{a}_{\text{аксел}} = -\vec{g}$, а при $\vec{a}_{\text{абс}} \neq 0$ имеем $\vec{a}_{\text{аксел}} = \vec{a}_{\text{абс}} - \vec{g}$.

С помощью комплекса современных инерциальных приборов, состоящих из гироскопических платформ и акселерометров, с большой точностью можно на опыте измерять ориентацию и ускорение в ОТО и в ньютоновской механике для отдельных малых частиц (в пределе — ускорения для индивидуализированных точек).

Теория, содержащая алгоритмы вычисления, позволяющие по показаниям инерциальных приборов находить глобальные законы движения отдельных точек, тел или даже деформируемых геометрических объектов, называется инерциальной навигацией. Соответствующие навигационные

вычисления выполняются быстродействующими ЭВМ, расположенными вместе с инерциальными приборами на движущихся объектах. Стоит подчеркнуть, что показания инерциальных приборов дают характеристические величины, независимые от основных моделей механики. Они в дальнейшем могут использоваться как в ньютоновской механике, так и в СТО или в ОТО.

Фундаментальные уравнения механики и физики обладают свойством ковариантности по отношению к произвольным, как угодно движущимся и деформируемым системам отсчета не только в ОТО, но и в механике Ньютона. Однако ковариантность не означает, что физические явления воспринимаются вообще одинаково для разных наблюдателей, как об этом иногда пишут, так как вид «расписанного» уравнения в «раскрытом» виде сильно зависит не только от рассматриваемого явления, но и от фиксированного наблюдателя, а также и от употребляемой конкретной системы координат.

Очевидно, что при свободном движении в космосе малой частицы размером с пылинку сопутствующий ей акселерометр покажет ускорение, равное нулю, а пылинка будет двигаться в состоянии невесомости. Орбиты пылинок в гравитационном поле в ньютоновской механике не прямые, это обусловлено тем, что когда $\vec{a}_{\text{аксел}} = 0$, то внешняя гравитационная сила, действующая на пылинку, полностью уравновешивается внешней силой инерции.

Если в облаке пылинок выделить некоторый объем, заключающий одни и те же пылинки, то этот объем будет деформироваться, так как разные пылинки будут подвержены разным ускорениям сил тяготения и поэтому будут описывать разные траектории. Если объединить пылинки связями в одно твердое тело, то их орбиты изменятся, выделенный объем сохранится, но он может изменять свою ориентацию, а внутри тела возникает состояние напряжения. Если связи податливые, то введенное «твердое тело» может деформироваться.

Поэтому в условиях свободного полета космического корабля акселерометры, размещенные в его разных местах, покажут различные ускорения. Таким образом, в этом случае не получится полной невесомости, однако для малой кабины и при отсутствии ее быстрых вращений разница в показаниях акселерометров в различных точках кабины при ее полете в межпланетном пространстве будет очень малой. Тем не менее даже столь малые градиенты

⁵ Таким образом, по определению, абсолютным ускорением можно назвать ускорение, измеряемое малым акселерометром на стабилизированной в пространстве с помощью гироскопов платформе, «скрепленной» с рассматриваемой индивидуализированной точкой.

ускорения для сравнительно небольших кораблей можно измерять с помощью современных приборов, которые позволяют регистрировать пространственную разницу ускорений сил тяготения на расстояниях, меньших одного метра. Таким образом, в кабине малого космического корабля, свободно движущегося в гравитационном поле поступательно при отсутствии каких-либо дополнительных внешних сил, как показывает опыт, абсолютный вектор ускорения $\vec{a}_{\text{всел}}$ равен нулю. В этом случае, согласно данному выше определению, декартову систему координат, связанную с кабиной, для механических явлений в кабине корабля можно считать инерциальной и в ньютоновской механике, так же как и в теориях относительности. Инерциальность системы отсчета, связанной с космическим кораблем, может нарушиться под действием дополнительных сил, обуславливающих отличие от нуля абсолютного ускорения (например, под влиянием аэродинамических сил, тяги двигателей и т. п.).

Из сказанного ясно, что понятие инерциальной системы отсчета имеет в значительной мере модельный смысл. В ньютоновской механике, в практических задачах разного класса в качестве инерциальных систем отсчета с точки зрения простоты и эффективности вычислений целесообразно брать разные системы отсчета. Например, при рассмотрении микроскопических движений и взаимодействий в макроскопических телах (твердых телах, жидкостях и газах) приходится встречаться с микроскопическими тепловыми движениями атомов и молекул, которые благодаря, в частности, столкновениям испытывают колоссальные абсолютные и относительные ускорения, во много тысяч раз превосходящие величину ускорения силы тяжести. По сравнению с этим многими другими ускорениями порядка ускорения силы тяжести можно пренебречь; например, можно пренебречь довольно значительными ускорениями для разных точек гитары или самовара, сброшенных с летящего самолета, которые из-за их замысловатой формы, падая, будут кувиркаться в воздушной атмосфере. Если пренебречь умеренными макроскопическими ускорениями очень малых объемов гитары или самовара, то связанные с ними сопутствующие системы отсчета можно считать инерциальными, а из осреднения микроскопических движений найти, что термодинамические свойства соответствующих веществ будут такими же, как и в покоящихся телах⁶.

Однако если макроскопические ускорения очень велики, например при гравитационном коллапсе вещества или в нейтронных звездах, то термодинамические свойства вещества претерпевают трансформации; в частности, хаотическое тепловое движение может существенным образом взаимодействовать непосредственно с упорядоченным макроскопическим движением.

Из сказанного выше следует, что идеализация инерциальной системы связана не только с фундаментальными основами механики, но может еще зависеть от класса рассматриваемых движений. В ньютоновской механике при переходе от гитары или самовара к вращающейся Земле, далее к «невращающейся» Земле, движущейся вокруг Солнца, далее к солнечной системе координат, далее к системе координат, связанной с центром масс Галактики, величины абсолютного вектора ускорения быстро падают и, следовательно, инерциальность соответствующих систем отсчета резко возрастает. Соображения о приемлемой точности искомых ответов, о простоте и удобстве расчетов позволяют выделять конкретные инерциальные системы для их использования в приложениях.

Вышеизложенные определения инерциальных систем отсчета эмпирически основаны на свойстве самостабилизации осей быстро вращающихся гироскопов и показаниях акселерометров, которые, как и всякие другие измерительные приборы, дают, несмотря на их очень большую точность, все же не абсолютно точные результаты.

СИЛЫ ИНЕРЦИИ

В связи с вопросом об инерциальных системах отсчета и постулатах ньютоновской механики сделаем замечание о силе инерции, равной — $m\vec{a}$, где \vec{a} — вектор ускорения рассматриваемой частицы относительно инерциальной системы отсчета, а m — ее масса. При наличии лишь сил тяготения сила инерции равна по величине силе гравитационного притяжения и приложена к движущейся частице (материальной точке) с массой m . Совершенно неверно

⁶ Подчеркнем, что в данном примере речь идет о термодинамических свойствах вещества, связанных соотношениями типа уравнений состояния. Неинерциальность сопутствующих систем отсчета вызывает в телах внутреннее напряжение и макроскопические деформации, что может приводить к разрушениям — эффектам термодинамической природы.

представления о фиктивности этой силы, все еще встречающиеся на страницах учебников.

В ньютоновской механике пространство всегда евклидово, а время — абсолютный скаляр, и поэтому никогда не возникает необходимости использовать силы противодействия силам инерции, которые при желании можно было бы ввести как силы реакции, приложенные к точкам зафиксированного евклидова пространства как физического поля, или к системе «неподвижных» звезд, входящей в определение инерциальной системы отсчета механики Ньютона. Здесь ситуация аналогична рассмотренному выше примеру о взаимодействии воробья с Землей. Воробей не оказывает фактически никакого учитываемого влияния на Землю в любых научных теориях, касающихся движения Земли. Подобным же образом в электродинамике часто игнорируются силы противодействия силам Лоренца, приложенные к электромагнитному полю.

Иногда, признавая реальность сил инерции, утверждают, что силы противодействия силам инерции приложены к конкретным внешним телам, взаимодействующим с рассматриваемой системой.

Такое утверждение неверно!

В самом деле, возьмем обычную гирию, на которую действует гравитационная сила притяжения к Земле. Если подвесить гирию на вертикальную пружину, то при равновесии на гирию кроме силы ее тяжести, направленной вниз, будет действовать еще равная по величине сила со стороны пружины, направленная вверх; в результате гирия находится в равновесии. Однако при этом и на пружину со стороны гири также будет действовать сила, равная силе тяжести гири, направленная вниз.

Из этого примера ясно, что действующая на пружину сила, равная весу гири, не есть физическая сила, порожденная исключительно гравитационным притяжением, а представляет собой силу, обусловленную состоянием равновесия гири. При отсутствии пружины гирия придет в состояние ускоренного движения, в котором сохраняется сила гравитационного притяжения, которая теперь, в ускоренном движении, уравновесится силой инерции. Подобным же образом, когда корабль подходит к пирсу и с него накидывают трос на кнехт, возникают ускоренное движение торможения и силы инерции. Эти силы натягивают трос, который передает натяжение на кнехт так же, как в предыдущем примере гравитационная сила притяжения, действующая

на гирию, передается на растягивающуюся пружину.

Важно, что в каждом из этих примеров присутствуют аналогичные инерциальные силы, приложенные не к пружине и не к кнехту, а к массе гири и к массе корабля. Поэтому можно сказать, что силы, действующие на пружину и на кнехт, порождены состоянием равновесия тяжелой гири и силами инерции, возникающими от движения торможения корабля.

КВАЗИРАВНОВЕСНЫЕ ПРОЦЕССЫ И НЕОБРАТИМОСТЬ

Исследуем диапазон гносеологической точности, в котором термодинамические явления определяются как равновесные или неравновесные, устойчивые или неустойчивые. Чем определяются границы уместности этих идеализаций?

Состояние равновесия может быть устойчивым или неустойчивым. Состояние термодинамического неустойчивого равновесия, или «метастабильного равновесия», в некоторых случаях можно считать равновесным. В частности, при изучении намагниченности веществ в исследуемом процессе иногда представляется необходимым учитывать явления релаксации, наличие флуктуаций и малых возмущений. В этом общем случае процесс намагничивания или размагничивания нужно трактовать как неравновесный.

Тем не менее если времена релаксации очень велики или пренебрежимо малы по сравнению с характерным временем процесса намагничивания, а относительные величины флуктуаций пренебрежимо малы (что бывает часто) и процесс устойчив, то во вполне приемлемом приближении в течение соответствующих «существенных» интервалов времени процессами релаксации можно пренебречь, например когда время релаксации очень большое или пренебрежимо малое по сравнению с «существенными» интервалами времени. Здесь, как и во многих других технических вопросах, эти процессы можно считать равновесными. Таким образом, при наличии гистерезиса можно пользоваться, наряду с излишне подробной и не всегда оправданной равновесной моделью, моделью, в которой явление намагничивания трактуется как равновесный необратимый процесс при наличии гистерезиса. Подобное упрощение модели часто применяется на практике.

С принципиальной точки зрения, дело не в том, что одно и то же явление можно рассматривать как равновесное или как не-

равновесное. Дело в том, что вообще существует термодинамическая возможность рассматривать квазиравновесные процессы (например, при гистерезисе) как необратимые. Один и тот же объект и одно и то же явление можно описывать различными способами в зависимости от характера задач, с помощью разных моделей, более «точных» или более «грубых», но всегда приближенных. Таким образом, в конкретных случаях данное состояние системы с разной степенью приближения можно считать равновесным или неравновесным. Нельзя никогда забывать, что мы имеем дело с моделями и что употребляемые модели никогда исчерпывающим образом не соответствуют действительности. Они могут быть лишь более или менее точными. Вместе с тем никто не станет рассчитывать полеты самолетов методом теории относительности, теории, в принципе более точной, чем ньютоновская механика⁷.

В общем случае при теоретическом описании всегда имеются неизвестные физические агенты, даже тогда, когда согласование с действительностью результатов теории вполне удовлетворительно. Это является прямым выражением конкретности научной истины и безграничности горизонта познания.

Как уже говорилось выше, одно и то же явление в разных теориях можно рассматривать как неравновесное или как равновесное. Наряду с этим очевидно, что квазиравновесные процессы можно рассматривать как необратимые (согласно второму началу термодинамики, это будут почти все процессы, при которых происходит переход внутренней, не тепловой энергии, в тепловую, когда возникают пластические деформации, электромагнитный гистерезис, в многочисленных химических реакциях и т. п.). Вместе с тем нужно исходить из того, что строго равновесные процессы, вообще говоря, невозможны. В действительности никогда нет строгого равновесия, никогда нет и полной обратимости. В окружающем нас мире нигде точно не выполняются оговариваемые в теории идеальные условия. Все развитие физики зиждется на том, что для более глубокого познания и для более тонких приложений на практике

всегда требуется уточнение уже существующего научного уровня.

Из сказанного выше следует, что нередко можно и необходимо строить модели с квазиравновесными, но, как правило, с необратимыми процессами. Во многих монографиях и учебниках по физике, даже у выдающихся авторов, без специальных оговорок утверждается и «доказывается», что квазиравновесные процессы всегда обратимы. Эти доказательства неверны! (Точнее, справедливы не абсолютно, а лишь при определенных модельных допущениях.) Но есть физики — первооткрыватели, понимающие необходимость существенно важных условий, которым должны удовлетворять равновесные процессы, могущие считаться обратимыми, и оговаривающие их, например Константин Каратеодори (1909 г.) и Макс Борн (1922 г.).

Поднятые выше вопросы об обратимости и необратимости процессов ни в коем случае нельзя трактовать как лишь терминологические уточнения. Как частные приемы, так и универсальные методы построения соответствующих моделей отличаются коренным образом в зависимости от того, обратимы или необратимы процессы в исследуемых физических системах. Например, в теории упругости процессы обратимы по определению. Отсюда следует, что соответствующие модели легко строятся термодинамическими методами и они очень просты по своему математическому существу. В теории пластичности обычно считается, что процессы квазиравновесны и необратимы, а соответствующие модели намного сложнее. В механическом и математическом отношении они сильно отличаются от моделей теории упругости.

НЕКОТОРЫЕ ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Как было продемонстрировано выше, связь научной теории с реальностью всегда опосредована некоторой совокупностью используемых моделей, имеющих смысл в рамках принятых в теории идеализаций и множества конкретных условий. Поэтому каждая модель лишь относительно справедлива и уместна. При введении основных модельных представлений и идеализаций не следует забывать, что как бы хорошо ни описывалась реальность, всегда возможно дальнейшее улучшение теории. В любой теории приходится как-то расплываться

⁷ Отдельные ученые считают, что теория относительности не нуждается в уточнении. Это мнение опровергается современной физикой, требующей, например, учета квантовых эффектов.

за «жесткость» главных постулатов и аксиом. Так, в ньютоновской механике наличие и сил инерции, и сил гравитации (1) — это прямое следствие постулатов о евклидовости пространства и абсолютности времени. Силы инерции не более «фиктивны», чем силы гравитации. При смене постулатов о пространстве и времени, например в ОТО, и те и другие не нужны и не фигурируют в теории. Также, если мы считаем, например, что силы реакции опоры, связи и т. д. уравнивают гравитационные силы, то нельзя забывать и о том, что можно ввести, аналогично, силы противодействия силам инерции, приложенные к «неподвижным звездам».

Любая, даже самая несомненная теория «видит» реальность сквозь призму идеальных моделей. С одной стороны, всегда приходится расплачиваться за несовершенство этого видения, с другой — всегда открыта возможность его дальнейшего развития.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Блехман И. И., Мышкис А. Д., Пановко Я. Г. МЕХАНИКА И ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА. Логика и особенности приложения математики. М.: Наука, 1983.

Седов Л. И. МЕХАНИКА СПЛОШНОЙ СРЕДЫ. Т. I, II. Изд. 4-е. М.: Наука, 1983, 1984.

Седов Л. И. РАЗМЫШЛЕНИЯ О НАУКЕ И ОБ УЧЕНЫХ. М.: Наука, 1980.

Седов Л. И. ОЧЕРКИ, СВЯЗАННЫЕ С ОСНОВАМИ МЕХАНИКИ И ФИЗИКИ. М.: Знание, 1983.

Каратеодори К. ОБ ОСНОВАХ ТЕРМОДИНАМИКИ.— В сб.: Современное развитие физики. М.: Наука, 1964.

Борн М. РАЗМЫШЛЕНИЯ И ВОСПОМИНАНИЯ ФИЗИКА. М.: Наука, 1977.

Седов Л. И. О ЕСТЕСТВЕННОЙ ТЕОРИИ СПЛОШНЫХ СРЕД.— Прикладная математика и механика, 1977, т. 41; вып. 6.

НОВЫЕ КНИГИ

Логика

А. А. Иванн. ПО ЗАКОНАМ ЛОГИКИ. М.: Молодая гвардия, 1983, 208 с., ц. 60 к.

Эта книга призвана дать живое, доступное и ясное представление об основных принципах логического анализа мышления. Не претендуя на то, чтобы «объять необъятное», автор сосредоточивает свое внимание на ключевых проблемах. Из тем, рассматриваемых в книге, можно выделить ясное и последовательное обсуждение основного принципа формальной логики (правильность умозаключения зависит только от его формы, или структуры, и ни от чего иного), четкое отграничение формальной логики от иных многочисленных предлагавшихся концепций логики, установление связи формальной логики с материалистической диалектикой и диалектической логикой, с математикой и кибернетикой, обсуждение имен (особенно неясных и нечетких понятий),

законов логики и др. Обо всем этом в книге рассказывается живо и свежо, с широким привлечением не только истории логики, но и истории философии и науки.

Внимание читателя привлекает и обсуждение нарушений синтаксических и семантических правил языка, нечеткости грани между осмысленным и неясным, парадоксов неточных понятий в их связи с принципом математической индукции и др.

Касаясь сугубо специальных проблем, автор органично переходит к вопросам, связанным с повседневным мышлением. Читатель оказывается как бы участником — и притом заинтересованным — идущего и сегодня спора о природе и принципах правильного мышления.

Интересны главы о софизмах. Сложилась прочная традиция трактовать их вскользь, с очевидным пренебрежением, как нечто говорящее только о логической неграмотности или интеллектуальной неряшливо-

сти. В книге софизмы представлены как характерная для античного мышления начальная форма постановки важных проблем, касающихся логики и языка.

В начале века логические парадоксы воспринимались как досадное препятствие, неожиданно вставшее на пути бурного развития логики, но в общем-то легко устранимое. Автор констатирует, что сейчас отношение к парадоксам заметно изменилось. Они рассматриваются уже не столько как проблемы, требующие немедленного решения, сколько как неисчерпаемый материал для размышления над наиболее фундаментальными вопросами всей науки, а значит и всего мышления.

Книга способствует углублению логической интуиции читателя, выработке у него навыков правильного и доказательного рассуждения.

В. Н. Садовский,
доктор философских наук

Москва

Аэрозоли — новый объект физических и астрономических исследований

И. В. Петрянов-Соколов, А. Г. Сутугин



Игорь Васильевич Петрянов-Соколов, академик, заведующий отделом аэрозолей Научно-исследовательского физико-химического института им. Л. Я. Карпова, один из основателей физической химии аэрозолей. Активно работает над проблемами охраны окружающей среды. Председатель правления Всесоюзского общества книголюбов и заместитель председателя правления Всесоюзского общества охраны памятников истории и культуры. Главный редактор журнала «Химия и жизнь», редактор библиотечки «Детской энциклопедии», автор популярных книг для юношества: *Неизвестное на нашу долю*. М., 1974 (совместно с Н. Н. Семеновым); *Самое необыкновенное вещество в мире*. М., 1975; *Великий закон*. М., 1976 (совместно с Д. Н. Трифоновым). Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и Государственной премий СССР.



Александр Георгиевич Сутугин, доктор химических наук, заведующий лабораторией динамики аэроколлоидов того же института. Специалист в области исследования свойств и методов получения ультрадисперсных частиц, физики конденсации и коагуляции. Автор монографии: *Высокодисперсные аэрозоли*. М., 1969 (совместно с Н. А. Фуксом). Лауреат Государственной премии СССР. В 1983 г. И. В. Петрянов-Соколов и А. Г. Сутугин опубликовали в «Природе» статью «Аэрозоли в науке и производстве» (№ 3, с. 2).

В 1978 г. А. А. Лушников и Я. И. Токарь предложили термин «космозоли» для обозначения облаков, состоящих из частиц в безвоздушном пространстве или в газовой дисперсионной среде, разреженной настолько, что длина свободного пробега ее молекул много больше среднего расстояния между частицами¹. Именно этим объектам посвящена и данная статья, но мы будем пользоваться термином «аэрозоли», как более благозвучным и перекликающимся с романтическим английским «стардаст» (звездная пыль). Впрочем, последний метафорический термин относится не к межпла-

нетной пыли, а к напоминающим светящуюся пыль россыпям звезд.

Сходство слов «аэрозоль» и «аэрозоль» наводит на мысль о близости физических свойств обоих классов объектов. Однако наряду с близостью имеются и радикальные отличия.

Прежде всего движение аэрозольных частиц полностью определяется их взаимодействием с дисперсионной газовой средой. Непрерывная бомбардировка аэрозольных частиц газовыми молекулами (броуновское движение), их увлечение турбулентными пульсациями среды (турбулентная диффузия) проявляются внешне, как блуждание по замысловатым искривленным траекториям. Частицы же аэрозолей перемещаются в направлении импульса,

¹ Лушников А. А., Токарь Я. И.— Доклады АН СССР, 1978, т. 241, с. 620.

полученного ими в момент образования. Отклонение их от прямолинейного движения возможно лишь под воздействием внешних сил — светового давления, гравитации, а при наличии на частицах электрического заряда — также и электромагнитных полей. В последнем случае частицы астрозолей будут перемещаться в соответствии с законами электродинамики, в то время как на траектории аэрозольных частиц действуют также гидродинамические силы и диффузия. Несущественно и воздействие светового давления на аэрозольные частицы. Они перемещаются под действием света, но совсем по иному механизму: фотофорез, возникающий из-за неоднородного нагрева частицы, вызывает тепловое скольжение газа вдоль ее поверхности и тангенциальную силу, намного превышающую силу светового давления.

Различен и характер осаждения частиц аэрозолей и астрозолей на препятствиях. Благодаря аэродинамическому обтеканию препятствий сечение захвата ими аэрозольных частиц много меньше геометрического, но зато частицы осаждаются не только на лобовой, но и на боковых и тыловой сторонах препятствия. Поток аэрозольных частиц осаждается полностью на лобовых поверхностях, и сечение их захвата точно равно площади проекции препятствия на нормальную к потоку плоскость. Лишь наличие электрических зарядов на частицах и препятствии может привести к осаждению астрозолей и на боковых поверхностях.

Оптические же и радиофизические свойства астрозолей и аэрозолей должны быть практически идентичны, если только речь не идет об аэрозольных частицах, взвешенных в сильно ионизованной среде. Ввиду малого отличия диэлектрических свойств газовой среды и вакуума, электродинамические свойства обоих объектов всецело определяются размером и формой частиц и диэлектрическими характеристиками их материала.

Прямолинейное движение частиц астрозолей и неизбежность их осаждения на препятствии затрудняют их изучение в земных, барокамерных условиях. Другая трудность изучения их свойств в барокамерах связана с необходимостью использования газовых потоков для диспергации частиц. Выделение газа снижает вакуум и превращает астрозоль в обычный аэрозоль, лишь с более разреженной средой. В свободном же безвоздушном пространстве газ покидает частицы, превращая их в астрозоль.

Можно привести многочисленные примеры как естественных, так и антропогенных астрозолей. Существует мнение, что большая часть вещества Вселенной заключена не в небесных телах, а именно в межпланетной и звездной пыли, т. е. в астрозолях². Эти частицы играют важную роль в химических превращениях содержащихся в космосе молекул. Большинство химических реакций требует участия третьих тел в элементарных актах реакций. В крайне разреженном межпланетном газе тройные столкновения очень маловероятны. Поэтому возрастает роль реакций в адсорбированном состоянии на пылинках астрозолей.

Другой пример источников естественных астрозолей — выбросы вулканов на безатмосферных спутниках планет. Например, вулканы на Ио выбрасывают большое количество паров серы, конденсирующихся в частицы, образующие пояс астрозоля вокруг Юпитера³. Наблюдения колец Сатурна также позволяют сделать вывод о наличии в них аэрозольной компоненты⁴. Об этом говорит высокая интенсивность рассеяния света на некоторых кольцах, деполаризация рассеянного излучения. Витые структуры некоторых колец Сатурна заставляют вспомнить замысловатые замкнутые траектории частиц при магнитофотофорезе — движении частиц в магнитном поле при одновременном воздействии света. Гигантскими облаками астрозолей являются хвосты комет II и III типа⁵.

Облака частиц антропогенного происхождения формируются вокруг космических аппаратов и оказывают нежелательное воздействие на их функционирование, так как осаждение частиц загрязняет поверхности бортовых элементов космического аппарата, особенно оптических приборов и солнечных батарей. Источником этих частиц являются: конденсация продуктов сгорания топлива двигателей, выделение паров из композиционных материалов и их последующая конденсация. Неизбежно

² Пенн Д., Таунс Ч., Уэлч У.— Усп. физ. наук, 1974, т. 112, № 2, с. 355.

³ Дурбаон Т., Содерблом Л. Ио.— В мире науки, 1984, № 2, с. 12.

⁴ Бурба Г. А. «Вояджер-1» в мире Сатурна.— Природа, 1981, № 7, с. 22.

⁵ Чурюмов К. И. Кометы и их наблюдение. М., 1980. с. 46.

образование аэрозолей при процессах космической технологии, связанных с концентрированным выделением энергии в открытом космосе — сварке и резке металлов, плавке в открытых отсеках.

Таким образом, изучение свойств аэрозолей представляет большой интерес как с точки зрения понимания механизмов их образования и их роли в естественных условиях, так и для разработки методов подавления возникновения аэрозолей в нежелательных ситуациях, для оценки их возможного воздействия на космические аппараты, на околоземное пространство. Последние аспекты являются профильными для новой отрасли науки — антропокосмической экологии; первая конференция, посвященная ей, состоялась в мае 1984 г. в Ленинграде.

★

Исследования поведения и эволюции естественных аэрозолей прежде всего помогают прояснить механизм образования небесных тел, поскольку предполагается, что их формирование протекает путем конденсации межзвездного газа и последующей коагуляции частиц. Теории этого процесса посвящено большое количество работ⁶, однако предсказание вероятностей образования связанных состояний при конденсации межзвездного газа представляет собой фундаментальную трудность из-за уже упоминавшейся проблемы столкновений трех тел⁷. Крайне низкая скорость естественного процесса агломерации межзвездной материи, несоизмеримость его с масштабами человеческой жизни ставят вопрос о моделировании процесса в более сжатых временных масштабах. Процессы конденсации при истечении пара в вакуум широко изучаются методом высокоинтенсивных молекулярных пучков, но условия конденсации в этих тонких гиперзвуковых струях существенно иные, чем в облаке межпланетного газа⁸. Поэтому при-

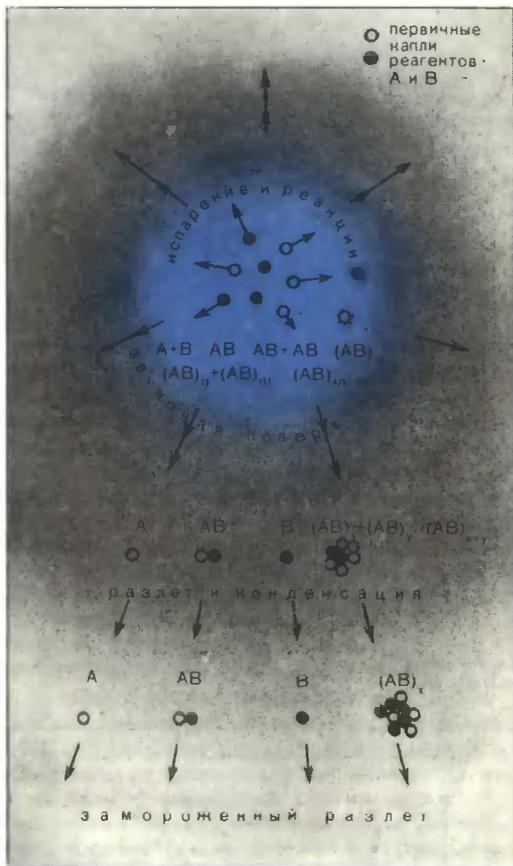


Схема формирования аэрозолевого облака.

влекательной представляется идея создания в космосе облака, на много порядков более плотного, чем естественный межпланетный аэрозоль, и наблюдение кинетики формирования и роста частиц в нем.

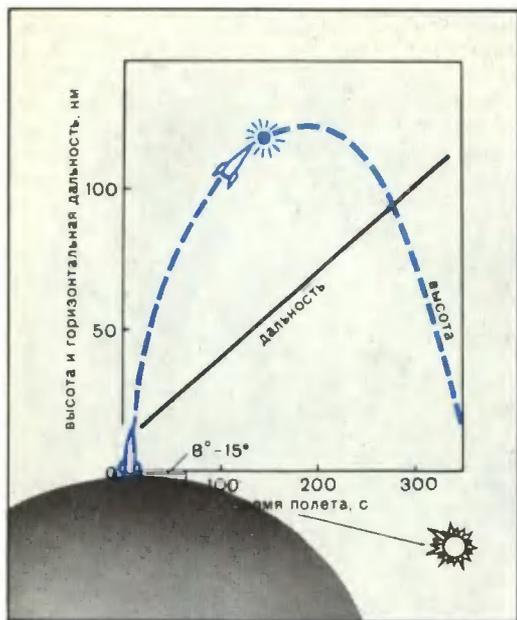
Еще более заманчивым объектом для моделирования представляются кометные атмосферы и хвосты. Эти хвосты чрезвычайно разнообразны по форме и по агрегатному состоянию содержащегося в них вещества; однозначных объяснений поведения хвостов и происхождения различных структур в них нет⁹. Примерами таких структур являются лучистые образования, галосы (дугообразные полосы), облачные образования. Загадочным является на-

⁶ Трубкин В. А.— Доклады АН СССР, 1971, т. 197, с. 59. См. также сноску 1.

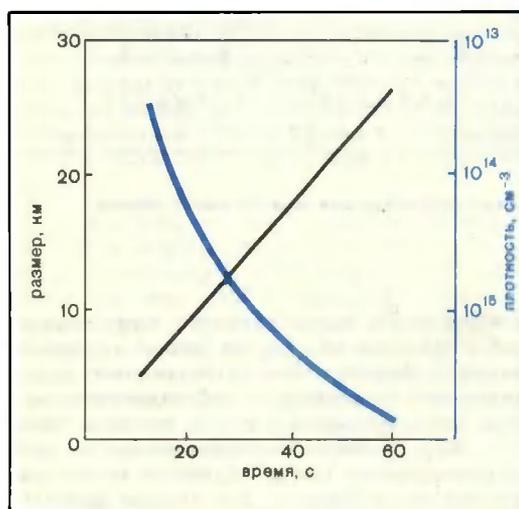
⁷ О двух- и трехчастичных столкновениях см.: Петрянов-Соколов И. В., Сутугин А. Г. Аэрозоли в науке и производстве.— Природа, 1983, № 3, с. 2.

⁸ Ребров А. К.— В сб.: Материалы 13-й Конференции по динамике разреженных газов. Новосибирск, 1983. Подробнее об этом см. также: Елецкий А. В., Смирнов Б. М. Современная атомная физика — тенденции и стимулы развития.— Природа, 1983, № 1, с. 72; Плазмохимический способ разложения CO_2 .— Природа, 1984, № 8, с. 107.

⁹ См.: Марочник Л. С., Скуридин Г. А. На встречу с кометой Галлея.— Природа, 1982, № 8, с. 2.



Зависимость высоты и дальности полета ракеты от времени.



Изменение во времени размеров и плотности астероидного облака.

блюдаемое иногда явление отрыва хвоста кометы и формирование нового. Попытки моделирования некоторых процессов, протекающих при формировании кометных атмосфер, предпринимались неоднократно.

Однако до последнего времени они сводились к маломасштабным опытам по испарению модельного вещества ядра кометы в барокамерах или к воспроизведению оптических эффектов в верхних слоях атмосферы. Недавно коллективом исследователей с участием одного из авторов настоящей статьи были описаны крупномасштабные эксперименты по использованию искусственных астероидов для моделирования формирования кометной атмосферы¹⁰.

*

Идея метода основана на кратковременном выбросе в безвоздушное пространство потока вещества, сравнимого с потоком испаряющихся продуктов от ядра кометы. Элементарные оценки показывают, что при диаметре ядра 2—3 км этот поток может составлять 10^{24} — 10^{25} молекул/с, т. е. порядка нескольких молей в секунду. Это означает, что, используя запас вещества в несколько десятков килограммов, можно в течение нескольких секунд получить поток, эквивалентный потоку от реального кометного ядра. Груз такого веса вполне можно доставить в достаточно разреженные слои атмосферы с помощью геофизических ракет. Для создания большого потока вещества необходима большая поверхность, которая может быть создана дисперсией летучей жидкости.

Цель упомянутых экспериментов была двойной. Во-первых, воспроизвести наблюдаемые в кометных хвостах структуры с использованием чисто газодинамических методов; во-вторых, установить возможность образования в хвостах астероидных частиц конденсационного происхождения. Обычно предполагается, что пылевая компонента хвостов обусловлена увлечением испаряющимся материалом вкрапленных в него твердых нелетучих частиц. Между тем в кометных хвостах обнаружены нейтральные молекулы, ионы, радикалы как анионного (CO_2 , HCN), так и катионного (NH_2^+ , NH_3^+) типа, а также вода. Это дает возможность предположить, что в ядрах комет могут содержаться легко сублимирующиеся и разлагающиеся соли типа карбонатов и цианидов аммония или гидразина, продукты разложения которых могут реагировать в процессе адиабатического расширения с образованием конденсирующихся про-

¹⁰ Сутугин А. Г., Корпусов В. Н. и др.— Кометы и метеоры, 1983, № 12, с. 1125.



Астрозольное облако. На фото справа можно различить лучистую структуру, размытый галес и облачное образование вблизи точки выброса.



дуктов. Частицы конденсационного происхождения могут образовываться в больших количествах и обладать высоким сечением рассеяния света на единицу массы, определяя таким образом оптические свойства хвостов.

С точки зрения газодинамики, сходство комы и зоны испарения коллектива капель в вакууме очень велико. Вблизи испаряющегося объекта существует область дозвукового течения продуктов испарения, затем скорость течения достигает звуковой и сверхзвуковой, но течение остается континуумным (сплошным), подчиняющимся законам механики сплошных сред. По мере падения плотности газа характер течения сменяется так называемым переходным, описываемым соотношениями динамики разреженных газов, но и в этом режиме еще возможны столкновения молекул, а следовательно, и конденсация. Затем наступает режим «замороженного» разлета, в котором течение носит бесстолкновительный характер. Однако при испарении кометного ядра наблюдается явная асимметрия — испарение протекает с обращенной к Солнцу стороны, в то время как коллектив капель испаряется симметрично. Впрочем, соответствующей организацией процесса выброса жидкости можно обеспечить и несимметричное истечение продуктов испарения. Целью экспериментов является моделирование процессов именно вблизи ядра, до зоны перехода к замо-

роженному истечению, в котором невозможны ни химические реакции, ни конденсация.

*

Схема экспериментов была следующей. С помощью геофизических ракет МР-12 на высоту 130—160 км доставлялись резервуары, содержащие две испаряющиеся жидкости, способные реагировать с образованием нелетучей соли. В апогее производился выброс жидкостей и их распыление. Использовались три различных системы выброса — выдавливание сжатыми газами, пороховыми газами и быстрое разрушение стенок резервуаров, что позволяло варьировать время выброса от миллисекунд до 10 секунд. Выброс реагентов производился вблизи терминатора планеты при угле погружения Солнца за горизонт 8 и 11°. Процесс образования и расширения облака фотографировался с Земли, что позволяло фиксировать структуру облака и характер его эволюции.

Общее количество реагентов составляло около 20 кг. Использовались пары веществ: жидкий хлористый водород — жидкий аммиак или триметилхлорсилан — диэтиламин. В первом случае конденсирующимся веществом являлся хлористый водород, во втором — смесь солянокислой соли диэтиламина и кремнийорганического полимера. Смысл варьирования химической природы реагентов заключался в управлении скоростью испарения первичных капель, а следовательно — потоком испаренного и конденсирующегося вещества. Реагенты были выбраны из соображений



Развитие вытянутого кометоподобного астрозольного облака. Слева — начальная фаза, справа — поздняя. В верхней части виден процесс разрушения тонкой кольцевой структуры, образованной суспензированными частицами.

★

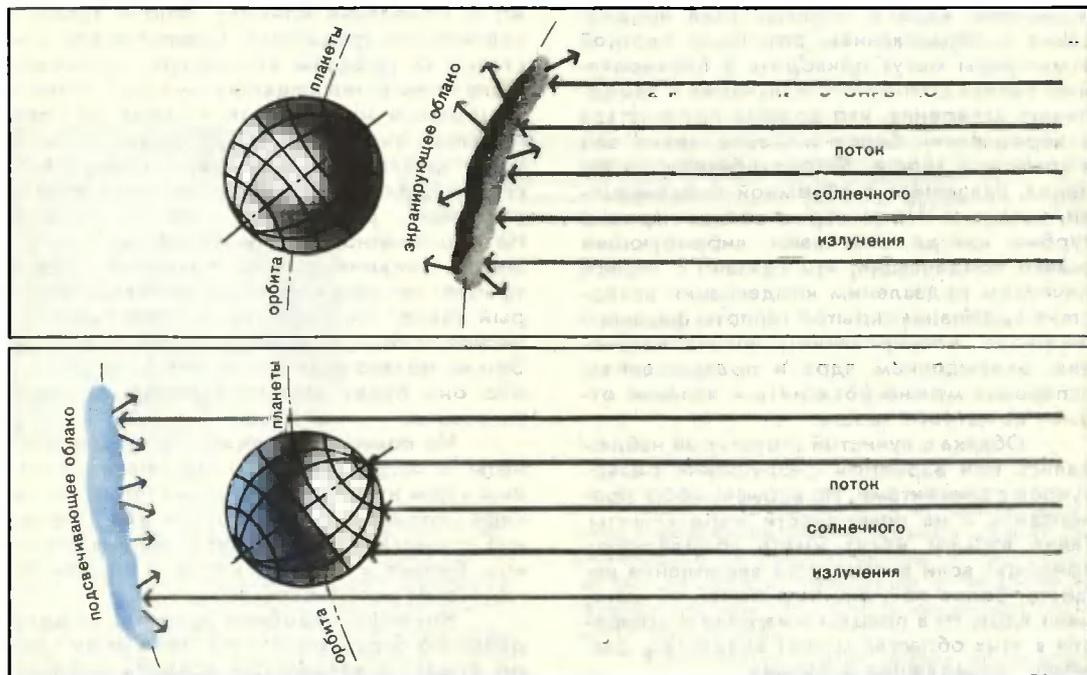
легкости испарения и способности образования соли при газозольной реакции.

Помимо выбора скорости выброса и химической природы реагентов для управления формированием облака использовались некоторые механические приемы — взаимная ориентация патрубков, через которые выбрасывались реагенты, задержка сброса створок обтекателя носовой части ракеты, в которой находились резервуары. Облака астрозолей расширялись со скоростью 200—1200 м/с и через минуту после начала выброса имели размеры 10—60 км. Яркость облака достигала максимума примерно через полминуты.

Эксперименты показали, что при образовании астрозоля значительная часть вещества — от нескольких процентов до нескольких десятков процентов — превращается в конденсированную дисперсную фазу. Это подтвердило гипотезу о возможности конденсационного происхождения астрозольной компоненты кометных хвостов. Степень конденсации падает при увеличении скорости испарения капель и их начального импульса. Это объясняет возможность возникновения чисто газовых хвостов в условиях испарения небольших комет при невысоких температурах. Указанная гипотеза связывает обилие астрозольной компоненты с размером кометы и скоростью испарения ядра, в то время как общепринятые представления о выделении пылевой компоненты, замороженной в ядро, связывают ее наличие только с природой ядра. Если астрозольная компонента комет-

ной атмосферы образуется, как это обычно предполагается, путем вывобождения готовых пылинок при испарении ядра, то концентрация этой компоненты действительно должна зависеть только от природы ядра, но не от его размера. При конденсационном механизме образования частиц и коли-

с лучистой структурой; сферические слои и вытянутые облака. Этим структурам могут быть сопоставлены аналоги в кометных хвостах. Для объяснения механизма формирования естественных структур обычно привлекается анализ поведения плазмы в магнитном поле. Для галосов



Идея использования астрозольных облаков для экранирования планеты от солнечного излучения и для подсветки ночной стороны.

чество их, и размеры существенно зависят от масштаба процесса испарения и конденсации, и при одном и том же составе ядра относительная доля астрозольной компоненты должна возрастать при увеличении размеров ядра и при приближении кометы к Солнцу. Дополнительным подтверждением реализации конденсационного механизма может быть анализ взаимосвязи частоты наблюдения хвостов различного типа с размером кометы и близостью ее прохождения от Солнца.

В астрозольных облаках наблюдались четыре типа структур: сплошные, равномерно расширяющиеся сферы; сферы

предложен также газодинамический механизм образования — предполагается, что их можно рассматривать как скачки уплотнения в потоке продуктов испарения¹¹. Такая трактовка представляется нам необоснованной. Наблюдаемый размер галосов составляет сотни тысяч километров, а удаление их от ядра может достигать многих миллионов километров. Переход же к сверхзвуковому разлету происходит, скорее всего, на расстояниях порядка сотен метров от поверхности ядра. Кроме того, при постоянстве потока испаряющегося вещества скачок уплотнения должен занимать фиксированное положение, а не перемещаться со сверхзвуковой скоростью, как это происходит с наблюдаемыми в кометных хвостах галосами. Образование галосоподобных структур (оболочек) в естественных астрозольных облаках было обус-

¹¹ Шульман Л. М. Динамика кометных атмосфер. Киев, 1977, с. 12.

ловлено разовым характером срабатывания системы выброса реагентов и узостью распределения по скоростям образовавшихся частиц.

Возникновение природных галосов можно было бы объяснить слоистой структурой ядра кометы, однако возможно и другое объяснение. Галосы могут иметь автоколебательную природу. Интенсивное испарение ядра и последующая конденсация с образованием оптически плотной атмосферы могут приводить к блокированию потока солнечного излучения и замедлению испарения, что должно проявляться в чередовании более и менее ярких зон в кометном хвосте. Автоколебательные явления, связанные с объемной конденсацией, известны. Например, в соплах паровых турбин иногда возникают вибрирующие скачки конденсации, что связано с периодическим подавлением конденсации вследствие выделения скрытой теплоты фазового перехода. Блокированием потока излучения, охлаждением ядра и прекращением испарения можно объяснить и явление отрыва кометного хвоста.

Облака с лучистой структурой наблюдались при взрывном разрушении резервуаров с реагентами. Но взрывы могут происходить и на поверхности ядра кометы. Такие взрывы могут иметь «бойлерную» природу: если в ядре есть вкрапления вещества, более летучих, чем основной материал ядра, то в процессе нагрева и испарения в этих областях может возрастать давление, приводящее к взрыву.

В некоторых опытах в реагенты вводились суспензированные частицы сажи. Это позволяло проследить, как ведут себя «готовые» частицы при испарении жидкости, в которую они погружены. Оказалось, что при этом помимо быстро расширяющегося облака частиц конденсационного происхождения образуются яркие структуры, которые ведут себя совершенно иначе. Это означает, что и пылевые частицы, высвобождающиеся при испарении материала кометы, будут двигаться по-другому, чем газовая и газоконденсатная компоненты, что также может приводить к образованию структур.

Заслуживает оценки возможное воздействие астрозольных частиц антропогенного происхождения на околоземное пространство как часть среды обитания человечества. В научно-фантастической литературе искусственные пылевые облака уже фи-

гурируют как средство подсветки ночной стороны Земли. Разумеется, было бы весьма неосторожным одобрить подобный проект без детального анализа всех его возможных последствий. Такое облако может представлять опасность для космических аппаратов. Кроме того, подсветка ночной стороны планеты будет означать искажение ее радиационного баланса, а следовательно и изменение климата. Много здесь и технических трудностей. Прежде всего, доставка за пределы атмосферы необходимого количества вещества — а оно должно измеряться мегатоннами — сама по себе чревата экологическими последствиями из-за загрязнения атмосферы продуктами сгорания ракетных топлив. На какой орбите возможно размещение такого облака? На стационарной орбите астрозоль не удержится, поскольку само создание облака требует придания частицам импульса, который уведет их с орбиты. На гелиоцентрической орбите, концентрической с орбитой Земли, облако разместить также не удастся, ибо оно будет захвачено полем земного тяготения.

Но помимо Земли есть и другие планеты, и астрозоли могут оказаться полезными при их освоении. Можно представить себе использование астрозоля для смягчения климата планет, расположенных слишком близко к Солнцу, или для защиты от излучения сверхновой звезды.

Конечно, подобные проекты — дело далекого будущего. Но и в наше время надо думать о возможном вредном влиянии астрозолей на развитие космической техники. Частицы, образующиеся при конденсации продуктов сгорания топлив или в технологических процессах на космических аппаратах, могут оказывать — подобно микрометеоритам — воздействие на другие аппараты, движущиеся по пересекающимся или встречным орбитам. Правда, частицы размером менее микрона, а именно такие образуются при конденсации, сходят с низких орбит, не сделав и одного витка вокруг Земли, но выброс астрозоля на высоких орбитах может привести к образованию долгоживущего облака, а механизмы самоочищения у космоса, в отличие от атмосферы, неизмеримо более ограничены.

Космос — новая для человечества среда обитания, и при освоении ее важно не повторить печальный опыт загрязнения атмосферы и гидросферы.

Железомарганцевые конкреции в океане и биос

Г. Н. Батурин



Глеб Николаевич Батурин, старший научный сотрудник Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР. Специалист в области геохимии океана. Автор многих работ и в том числе монографий: Уран в современном морском осадкообразовании. М., 1975; Фосфориты на дне океана. М., 1978.

Железомарганцевые конкреции, представляющие собой округлые или уплощенные образования до нескольких сантиметров в поперечнике, широко распространены на дне некоторых районов Мирового океана. Впервые они были обнаружены экспедицией на английском судне «Челленджер» в 1873—1876 гг. и уже тогда привлекли к себе внимание как одна из океанских диковин. Но в последние годы отношение к конкрециям стало более прагматическим: по своему потенциальному экономическому значению они считаются теперь вторым после нефти минеральным ресурсом океана, поскольку содержат помимо железа и марганца до 2—3 % никеля, меди и кобальта при общих запасах сырья в сотни миллиардов тонн. В связи с этим вопрос о происхождении конкреций приобрел помимо научного и практическое значение — для прогнозирования месторождений надо знать, как они образовались.

В изменчивой океанской среде действуют много факторов, и выяснить, какие из них являются в данном случае главными, далеко не просто. Одни исследователи считают, что конкреции образовались за счет чисто химического осаждения марганца из морской воды и стягивания его под действием коллоидных сил, при возможном участии марганца из вмещающих донных отложений.

Другие полагают, что решающую роль в формировании конкреций играют не химические, а биологические и биохимические процессы, связанные с жизнедеятельностью или продуктами жизнедеятельности организмов.

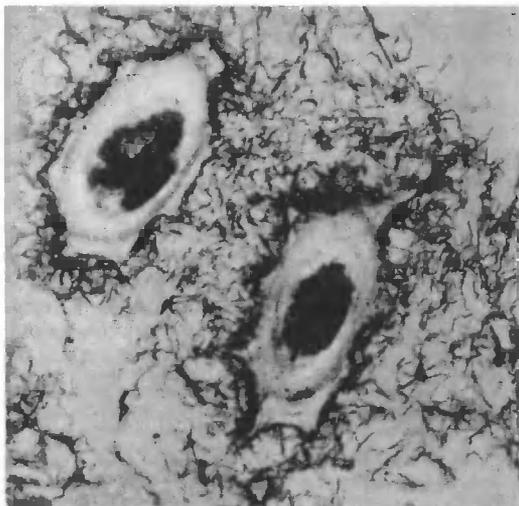
В настоящее время первая точка зрения является преобладающей, поэтому любопытно рассмотреть данные в пользу второй, которая также сохранила свою жизнеспособность.

Главнейшим элементом конкреций, определяющим особенности их состава, является марганец. Поэтому история формирования конкреций начинается с поведения марганца в морской воде. Рассмотрим, насколько оно связано с органическим веществом океана — биосом.

МАРГАНЕЦ И БИОС В ВОДАХ ОКЕАНА

Марганец поступает в океан главным образом из двух источников — с континентов в составе речных вод и из разломов земной коры на дне океанов в составе горячих металлоносных растворов.

Попадая в морскую воду, содержащую растворенный в ней кислород, марганец должен, согласно законам химии, окислиться до двуокиси марганца (MnO_2), которая практически нерастворима и немедленно



Споры морской бактерии в оболочке из гидроксидов марганца. Увел. 15 тыс.

но выпадает в осадок. Таким образом, растворенного марганца в воде океана быть не должно, но он есть, причем именно в двухвалентном состоянии, хотя концентрация его крайне низка — доли микрограмма в литре воды. Стабилизатором этого двухвалентного марганца является растворенное в морской воде органическое вещество — продукт жизнедеятельности биоса, концентрация которого в морской воде составляет в среднем около 1 мг/л, т. е. в тысячи раз выше, чем марганца. При этом марганец, непрерывно окисляемый растворенным в воде кислородом, так же непрерывно восстанавливается органическим веществом, а часть марганца связывается при этом в устойчивые металло-органические комплексы.

Кроме того, марганец является биогенным микроэлементом, выполняющим в организмах жизненно важные функции в окислительно-восстановительных биохимических процессах и в фотосинтезе. Содержание марганца в живых организмах невелико — сотые и тысячные доли процента на сухой вес, но поскольку продукция органического вещества в океане достигает сотен миллиардов тонн в год, то в верхнем освещенном слое воды фитопланктон ежегодно вовлекает в биогеохимический круговорот около 300 тыс. т марганца — примерно столько же, сколько его поступает в океан в составе речного стока. Время полного извлечения марганца живым ве-

ществом из этого верхнего слоя составляет всего 67 лет.

Какое отношение имеет все это к формированию железомарганцевых конкреций? Оказывается, самое непосредственное, поскольку одна из проблем их происхождения — пути поступления марганца на дно.

Установлено, что марганец осаждается на дно открытой части океана именно благодаря деятельности биоса. Один путь — это осаждение его в составе форменных остатков организмов (створки диатомей, раковины фораминифер), другой — микробиологический, поскольку некоторые представители бактериопланктона образуют вокруг своих клеток марганцевистую капсулу, под весом которой в конце концов погружаются на дно. Но главный путь осаждения марганца, как и многих других рассеянных элементов, из вод океана на дно — так называемый пеллетный транспорт. Пеллеты представляют собой органико-минеральные комочки размером от долей до нескольких миллиметров, являющиеся продуктами жизнедеятельности планктонных организмов, в основном зоопланктона. С помощью специальных устройств, напоминающих гигантские перевернутые зонтики, — седиментационных ловушек, устанавливаемых на любых глубинах океана на длительные сроки, удалось доказать, что марганец и ряд других элементов, в частности медь и никель, осаждаются на дно главным образом в составе пеллет. Именно поэтому конкреции северо-восточной тропической зоны Тихого океана, воды которой отличаются высокой биологической продуктивностью, обогащены помимо марганца медью и никелем, которые извлекаются из воды планктоном и осаждаются на дно с его остатками. Потоки марганца, рассчитанные по материалам «ловушек» и по скоростям накопления донных отложений (методами абсолютной геохронологии), совпадают в полной удовлетворительно и составляют в северной части Тихого океана 5—29 мг/м² в год. Таким образом, факты показывают, что поведение марганца в океане контролируется не химическими, а, скорее, биохимическими процессами. А ведь еще сравнительно недавно известный американский химик Р. Хорн писал в своей книге «Морская химия»: «Загадочность, возникающая вокруг проблемы происхождения железомарганцевых конкреций, вызывает у химика недоумение... Все марганцевые растворы медленно окисляются или восстанавливаются до MnO₂. Пример, знакомый

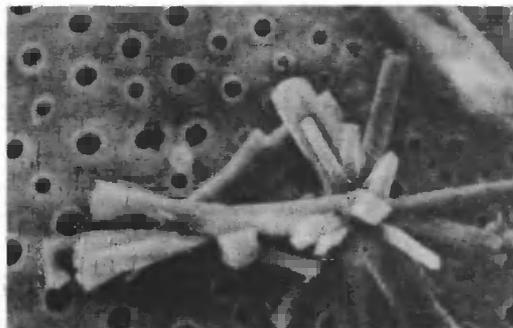
каждому химику,— «коричневые пленки на колбах с раствором перманганата калия»¹. При современном уровне знаний такой пример, при всей его доходчивости, неубедителен.

МАРГАНЕЦ, КОНКРЕЦИИ И БИОС НА ДНЕ ОКЕАНА

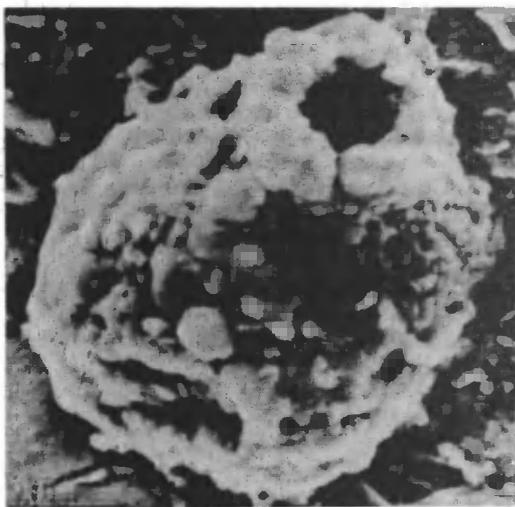
Органический материал, поставляющий марганец на дно глубоководных зон океана, сохраняется в донных отложениях далеко не весь. Биогенный карбонат кальция может полностью раствориться, а органическое вещество довольно быстро распадается, находясь еще на поверхности дна, примерно на 90%. В какой-то мере процесс растворения затрагивает, видимо, и марганец, но преобладающая его часть остается в осадке, обладающем большой сорбционной емкостью. При этом значительная часть марганца в осадках находится в двухвалентной форме, наследуя ее от предыдущей стадии миграции, связанной с органическим веществом.

Как ни мало остаточное содержание органического вещества в глубоководных океанских осадках (доли процента), его оказывается, все же достаточно для того, чтобы «мобилизовать» часть марганца из твердых частиц и перевести его в раствор. Благодаря этому возникает диффузионный поток растворенного марганца, направленный из осадков вверх к границе раздела вода — дно. Этот поток может быть значительно ускорен благодаря деятельности обитающих на дне роющих организмов, проникающих в осадок на глубину до 2 м. Таким образом, подвижный марганец может, в зависимости от целого ряда условий, или уйти в придонную воду, или обогатить верхний слой осадков, или сконцентрироваться в форме конкреций. Но в любом случае находящиеся на дне живые организмы и их остатки будут затронуты этими процессами, играя в них пассивную или активную роль.

Уже первые исследователи конкреций отмечали, что в них имеются органические остатки, иногда довольно обильные — зубы акул, слуховые кости китов, раковины и панцирь мелких планктонных организмов, в том числе фораминифер, радиолярий, диатомей. Попадая на дно, этот биогенный материал в какой-то мере



Панцирь диатомовой водоросли, микроустрированный кристаллитами марганцевого минерала. Увел. 1,4 тыс.

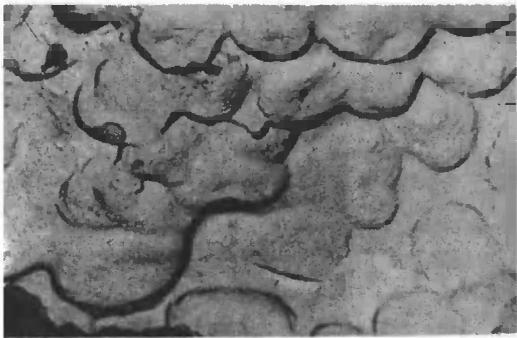


Раковина фораминиферы, построенная из железомарганцевых микроконкреций. Увел. 2,5 тыс.

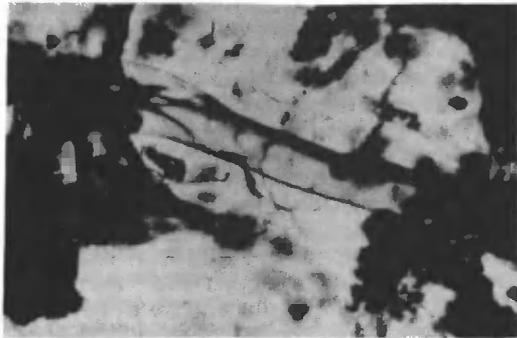
преобразуется, создавая микронеоднородности среды и градиенты ряда физических и физико-химических показателей, таких как плотность, проницаемость, кислотность, окислительно-восстановительный потенциал. Все это влияет на подвижность металлов в пограничном слое, вызывая их перераспределение и осаждение на биогенном материале. При этом может происходить как сорбция марганца и других металлов, так и образование собственных марганцевых минералов.

Некоторые из 40 видов донных фораминифер, найденных на поверхности конкреций, обладают также способностью к прижизненной концентрации марганца

¹ Х о р н Р. Морская химия. М., 1970, с. 305—306.



Бнеморфные ультрамикроскопические структуры в глубоководных железомарганцевых конкрециях Тетического океана: кокковидные [слева] и трубчатые [справа]. Увел. 20 тыс.



в своих раковинах и таким образом вносят в формирование конкреций свой самодеятельный вклад, сохраняющийся и в том случае, если карбонатный материал самой раковины затем полностью растворится. Известны даже такие виды донных фораминифер, которые используют для постройки своих раковин железомарганцевые микроконкреции. Но наиболее интересны из всех обитателей железомарганцевых конкреций — морские бактерии.

Мнение о том, что образование железомарганцевых конкреций на дне морей и океанов связано с деятельностью бактерий, высказывалось еще в 20—40 годах известными микробиологами Б. В. Перфильевым, В. С. Буткевичем, В. О. Калининко, но не встретило одобрения со стороны геологов. В последние годы были проведены специальные исследования микрофлоры океанских железомарганцевых конкреций, показавшие, что общее число бактерий на их поверхности достигает десятков миллионов на грамм вещества, причем в некоторых случаях количество бактерий на конкрециях больше, чем во вмещающем осадке. Исследование поверхности свежесобранных конкреций под сканирующим микроскопом показало, что они обильно заселены нитчатými микроорганизмами, покрытыми чехлом, состоящим из гидроокислов железа и марганца. При посеве микроорганизмов на питательные среды выяснилось, что среди них имеются специфические формы, осаждающие марганец, причем их численность составляет от десятков тысяч до миллионов на грамм материала конкре-

ции. В большом количестве обнаружены и другие микроорганизмы и даже анаэробы, как это ни кажется парадоксальным для окислительной, содержащей свободный кислород придонной среды океана. Показательно, что жизнеспособные бактерии обнаружены не только на поверхности, но и в центральных частях конкреций.

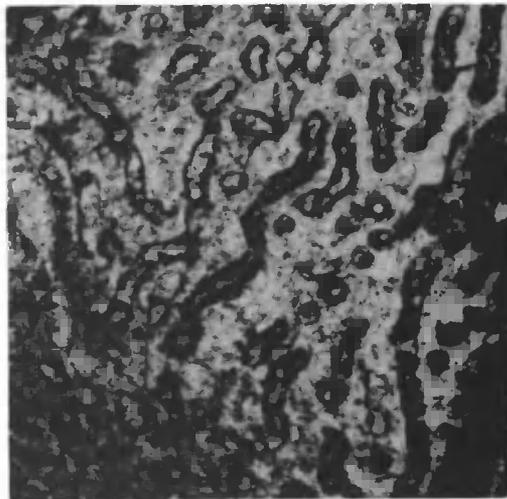
При исследовании внутреннего строения конкреций под электронным микроскопом в них обнаружены многочисленные ультрамикроскопические структуры, похожие по форме и размерам на бактериальные клетки, в том числе и кокковидные, трубчатые, нитчатые, звездчатые. Многие специалисты, в том числе Ф. В. Чухров, считают их остатками железобактерий *Gallinella* или *Leptothrix*, играющих заметную или даже решающую роль в концентрации железа и марганца во многих природных процессах².

В последние годы в железомарганцевых конкрециях обнаружены, также в ассоциации с органическими остатками, некоторые минералы, образование которых связано с восстановительной обстановкой: сульфиды железа, меди, никеля, самородная сера и т. д. В большинстве случаев они представлены ультрамикроскопическими включениями, размеры которых не превышают нескольких микрометров. По-видимому, формирование этих минералов обусловлено осаждением и «запечатыванием» в конкрециях частиц биогенного детрита, обогащенного органическим веществом, на базе которого произошла вспышка жизнедеятельности сульфатредуцирующих микроорганизмов. При наличии на поверхности этих зерен окисной пленки они могут сохраняться в конкрециях достаточно

² Чухров Ф. В., Горшков А. И. и др. — Известия АН СССР, сер. геол., 1978, № 6, с. 8.



Кристаллы пирита из тех же конкреций. Увел. 20 тыс.



Ходы роющих организмов в железомарганцевых конкрециях с подводного плато Блейк, Атлантический океан. Увел. 2 тыс.

долго, но при нарушении пленки (в частности, в процессе изготовления шлифов конкреций) они быстро окисляются.

Наконец, еще один из аспектов нашей темы заключается в том, что обитающие в некоторых зонах распространения конкреций представители донной фауны способны сдвигать конкреции с места и даже переворачивать их в поисках пищи, которой могут быть бактерии на нижней стороне конкреций. Более того, многие конкреции с подводного плато Блейк в Атлантическом океане сами источены ходами илоедов, заполненными впоследствии осадочным материалом. Согласно одной из гипотез, именно с этим обстоятельством связан тот факт, что медленно растущие конкреции не засыпаются более быстро накапливающимися осадками. Однако в основных зонах распространения конкреций роющая донная фауна чрезвычайно бедна. Конкрекции не «тонут» в осадке, скорее всего, потому, что выталкиваются из него силами внутреннего сцепления, действующими в пластичной влажной глинистой массе.

Из всех рассмотренных сторон воздействия биоса и продуктов его жизнедеятельности на формирование железомарганцевых конкреций наиболее важной является, вероятно, наличие в них обильной бактериальной микрофлоры. Именно на это обратил внимание в 20-х годах нашего века

основоположник биогеохимии В. И. Вернадский, который писал: «Мельчайшие существа, центры лучистой космической энергии Солнца, преобразенной процессами жизни, вызывают величайшее по земному масштабу геохимическое явление. Они совершенно изменяют геохимическую историю марганца... Образование марганцевых конкреций на дне водных, в том числе океанических, бассейнов можно считать результатом биогеохимических процессов. Наблюдения и опыты биологов, химиков, минералогов и океанографов доказывают это с полной несомненностью. Никакое другое объяснение не соответствует наблюдаемым фактам»³.

К тем «наблюдаемым фактам», которыми Вернадский располагал 60 лет назад, добавляются новые. И хотя многие конкретные стороны влияния биогенного фактора на формирование конкреций все еще не выяснены, в целом его участие в этом процессе представляется несомненным. И, что весьма важно, этот фактор действует не вопреки, а согласно с основными законами химии, породившей; по мере расширения наших знаний о Земле, родственные науки — геохимию и биогеохимию.

³ Вернадский В. И. Избр. соч. М., 1954, т. 1, с. 82.

Объединенные калибровочные теории и нестабильный протон

В. С. Березинский



Вениамин Сергеевич Березинский, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник Института ядерных исследований АН СССР. Научные интересы связаны с физикой элементарных частиц и астрофизикой. Автор (совместно с В. Л. Гинзбургом, С. В. Булановым, В. А. Догелем и В. С. Птускиным) монографии: Астрофизика космических лучей. М., 1984. В «Природе» напечатал статью: Вселенная в нейтринном свете (1981, № 3).

Поразительной чертой современной физики элементарных частиц оказалось ее слияние с космологией. Вселенную с ее характерным размером порядка 10^{28} см нельзя понять, не изучая взаимодействия элементарных частиц на расстояниях 10^{-28} см, а возможно и 10^{-33} см. Но еще более удивительно, что и микромир на этих расстояниях помнит и знает историю Вселенной, начиная с первых ее мгновений. Так, в величине масс W - и Z -бозонов, недавно открытых на ускорителе в ЦЕРНе, содержится информация о гигантском катаклизме, который произошел во Вселенной через 10^{-1} с после начала ее расширения.

Если Вы, читатель, подобно многим физикам XIX в., верите в существующую вечно Вселенную и закон сохранения энергии, то в возможность распада протона Вы верить не можете: за бесконечное время все протоны и ядра должны были распасться, а с ними заодно исчезнуть и Вы, дорогой читатель, и я, и наш многоуважаемый журнал с этой статьей. Однако хорошо известно, что Вселенная существует всего лишь $10\text{—}20$ млрд лет, и протон — простейшее ядро, сердцевина атома, основа всего окружающего, от газа до живых существ, — может без всякого риска для наших представлений о Вселенной распасться за время 10^{32} или более лет.

Но какие существуют основания ожидать его распад? Если мы верим хоть в какие-либо законы сохранения, то не правильнее ли будет законом сохранения номер один объявить сохранение так называемого барионного числа и тем самым причислить протон к лику бессмертных?

ЧТО ДОЛЖНО СОХРАНЯТЬСЯ И ЧТО МОЖЕТ НЕ СОХРАНЯТЬСЯ

История науки полна покушений на законы сохранения. «Стреляли» в сохранение электрического заряда, был «убит» закон сохранения четности, неоднократно покушались на сохранение энергии. Конечно, законы абсолютного сохранения какой-либо величины — это, в конечном счете, акт веры, но хотелось бы, по крайней мере, иметь единый принцип, по которому можно отделять абсолютно сохраняющиеся величины от сохраняющихся приближенно и вообще не сохраняющихся. Сейчас мы думаем, что такой принцип нам известен — это локальная симметрия взаимодействий.

Начнем с известного примера электромагнитного взаимодействия и сделаем объектом нашего рассмотрения заряженные частицы (для определенности — электроны) во всей Вселенной. В соответствии с квантовой теорией, мы будем опи-

сывать электрон волной и потребуем, чтобы все взаимодействия между электронами оставались неизменными при изменении фазы электронной волны в каждой точке Вселенной на «свою» величину $\varphi(x)$, являющуюся функцией пространственных координат Вселенной. Такие взаимодействия мы называем локально симметричными относительно сдвига фазы состояний. Оказывается, что для выполнения такой симметрии необходимо существование частицы (фотона), переносящей взаимодействие между электронами, причем фотон должен быть безмассовым, а заряд электрона e (константа взаимодействия электрона и фотона) должен точно сохраняться. Если же локальную симметрию нарушить, то фотон приобретает массу, а электрический заряд может не сохраняться.

Описанный пример имеет на самом деле большую общность. Следствием любой локальной симметрии должно быть существование безмассовой частицы — переносчика взаимодействия — и сохранение заряда частиц, который характеризует «силу» взаимодействия с этим переносчиком. Известный пример такой теории — квантовая хромодинамика. Она описывает взаимодействия кварков, которые могут находиться в трех различных состояниях, отличающихся специфической квантовой характеристикой — «цветом» (цвета кварков можно пронумеровать индексом $i=1, 2, 3$). Локальная симметрия основана на равноправии этих цветов: при произвольных вращениях в условном пространстве этих цветовых индексов независимо в каждой точке взаимодействия кварков не изменяется. Это приводит к тому, что переносчик взаимодействия между кварками — глюон — должен быть безмассовым, а цвет — абсолютно сохраняющейся величиной. В отличие от электрически нейтрального фотона, глюон сам несет цвет, причем не просто цвет, а двойной цвет (или двойной цветовой индекс ik). Всего имеется 8 глюонов, различающихся по своей «окраске».

Теории, о которых идет речь, называются калибровочными. Исходными объектами в них являются фермионы — частицы со спином $1/2$ (электроны, кварки), а переносчики взаимодействия (фотон, глюоны) имеют спин, равный 1, и называются калибровочными бозонами. Математически фазовая симметрия электромагнитного взаимодействия описывается группой $U(1)$, а симметрия относительно вращения в пространстве трех цветов — группой $SU(3)$.

Возможно, все точно сохраняющиеся величины порождены ненарушенными локальными симметриями. Эта вера основана на той бесшумной революции в физике, которую осуществили локально-симметричные калибровочные теории в последнее десятилетие. Из аппарата теории исчезли нефизические бесконечные величины и обрабатываемые в нуль реально наблюдаемые величины. Была создана и экспериментально подтверждена объединенная теория слабого и электромагнитного взаимодействий, построены так называемые модели большого объединения, унифицирующие сильные, слабые и электромагнитные взаимодействия. И для всего этого потребовались не сумасшедшие идеи, как ожидали классики, а всего лишь речесленная разработка деталей калибровочных теорий.

Барийное число, определяемое для любой частицы или тела как число кварков минус число антикварков, деленное на три, не может быть следствием локальной симметрии, и поэтому, скорее всего, не может быть точно сохраняющейся величиной. Если бы барийное число являлось калибровочным сохраняющимся зарядом¹, оно было бы связано с безмассовым полем и действовало на очень больших расстояниях. Тогда к гравитационному взаимодействию двух макроскопических тел добавилось бы точно такое же взаимодействие (в смысле зависимости от расстояния), но пропорциональное не массе, а барийному числу тела. Чтобы такая «неправильная» добавка не проявлялась в гравитационных экспериментах, константа взаимодействия барийона с безмассовым полем должна быть меньше 10^{-47} . Такое сверхслабое гипотетическое взаимодействие совершенно неестественно, в частности оно не вписывается в объединенные модели взаимодействий, о которых речь пойдет ниже.

Поэтому, в отличие от электрического заряда и цвета, у нас сейчас нет оснований считать барийное число строго сохраняющейся величиной, а протон — абсолютно стабильной частицей.

¹ По аналогии с электромагнетизмом, зарядом частицы g называют константу ее взаимодействия с частицей — переносчиком этого взаимодействия. Если мы не связываем какую-либо величину с константой взаимодействия, то называем ее числом: барийное число (B), лептонное число (L) и т. д. Удобно вместо заряда ввести его квадрат, или, точнее, $\alpha = g^2/4\pi\hbar c$; этой константой взаимодействия будем в дальнейшем пользоваться и мы.

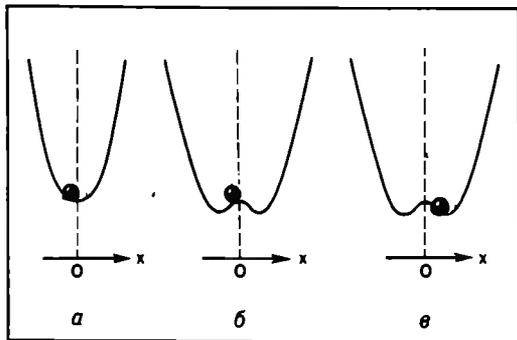
БОЛЬШОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ

Основная идея большого объединения состоит в том, что сильное, слабое и электромагнитное взаимодействия представляют собой различные проявления одного фундаментального взаимодействия, характеризуемого одной безразмерной константой $\alpha_{\text{объед}}$ и определенной симметрией. В полной мере это проявляется на очень малых расстояниях ($r \lesssim 10^{-28}$ см), где кварки и лептоны перед лицом объединенного взаимодействия неразличимы. Это означает, что наблюдатель, мир которого ограничен столь малыми расстояниями, не отличил бы нейтрино от кварка или электрона. По существу, вместо индивидуальных кварков, электронов и нейтрино в объединенных моделях вводят как бы одну «сверхчастицу», различные состояния которой являются кварками, электронами и нейтрино. Об этой «сверхчастице» говорят как о мультиплете состояний. Единое взаимодействие симметрично относительно вращений внутри мультиплета, в результате которых одно состояние заменяется на другое (например, кварк на нейтрино).

Хорошо известной аналогией здесь может служить нуклон. Два его состояния — протон и нейтрон — отличаются друг от друга проекцией изотопического спина и переходят друг в друга при вращении в условном изотопическом пространстве. Сильное взаимодействие симметрично относительно этих вращений и не может отличить протон от нейтрона.

Симметрия теории большого объединения — локальная и, следовательно, она связана с появлением безмассовых калибровочных бозонов. Однако эта симметрия не точная — она нарушена так называемыми хиггсовскими полями, роль которых мы подробно обсудим чуть ниже. Хиггсовские поля могут быть в двух состояниях. При очень высокой температуре ($T \gtrsim 10^{27}$ К) они являются обычной совокупностью свободных частиц; при этом все частицы, включая калибровочные бозоны, безмассовые. Во-втором состоянии некоторые из хиггсовских полей выпадают в конденсат, подобно тому, как при охлаждении пара его частицы образуют жидкость. Эта хиггсовская жидкость (конденсат) никак не проявляется во взаимодействиях, и ее включают в понятие вакуума. Одновременно и вследствие этого калибровочные бозоны и обычные частицы приобретают массы. Появление масс явно нарушает симметрию единого взаимодей-

ствия: различные состояния калибровочных бозонов и различные состояния в фермионных мультиплеттах (кварки, лептоны) отличаются друг от друга массами и, следовательно, не являются равноправными. Именно массы частиц ответственны, в первую очередь, за различную силу взаимодействий на больших расстояниях: например, электромагнитное взаимодействие обусловлено обменом безмассовым фотоном, а слабое — калибровочными W- и Z-бозонами с массами порядка 80 и 90 ГэВ. Но на очень малых расстояниях ($r < 10^{-28}$ см)



Пример спонтанного нарушения зеркальной симметрии в механической системе, иллюстрирующий хиггсовский механизм нарушения симметрии и генерации масс частиц. Механическая система состоит из шарика и проволочного каркаса (а). При выгибании дна каркаса (б) система сохраняет зеркальную симметрию, но состояние равновесия неустойчиво и система спонтанно переходит в состояние (в) с явно нарушенной зеркальной симметрией. В случае хиггсовского поля рисунок нужно понимать как графики зависимости потенциальной энергии от величины хиггсовского поля. При высокой температуре потенциал имеет форму (а), а при низкой — (б) и (в). При понижении температуры Вселенной потенциал эволюционирует от формы (а) к (б), и хиггсовское поле (на рисунке — шарик) спонтанно переходит в несимметричное состояние (выпадает в конденсат). Этот процесс сопровождается перестройкой всех других полей. Хиггсовское поле расщепляется на два сляярных поля: одному соответствует массивная частица, другому — безмассовая (голдстоуновский бозон). Последнюю поглощаются калибровочным полем, которое таким образом получает массу. Частицы со спином 1/2 (фермионы) приобретают массы в результате взаимодействия с компонентой хиггсовского поля, выпавшего в конденсат. [Интересно отметить, что в теории сверхпроводимости этот механизм был открыт еще в 1950 г. В. Л. Гинзбургом и Л. Д. Ландау.]

даже самые тяжелые калибровочные бозоны переносят взаимодействие столь же эффективно, как и безмассовые, и объединенное взаимодействие обретает свою симметричную форму.

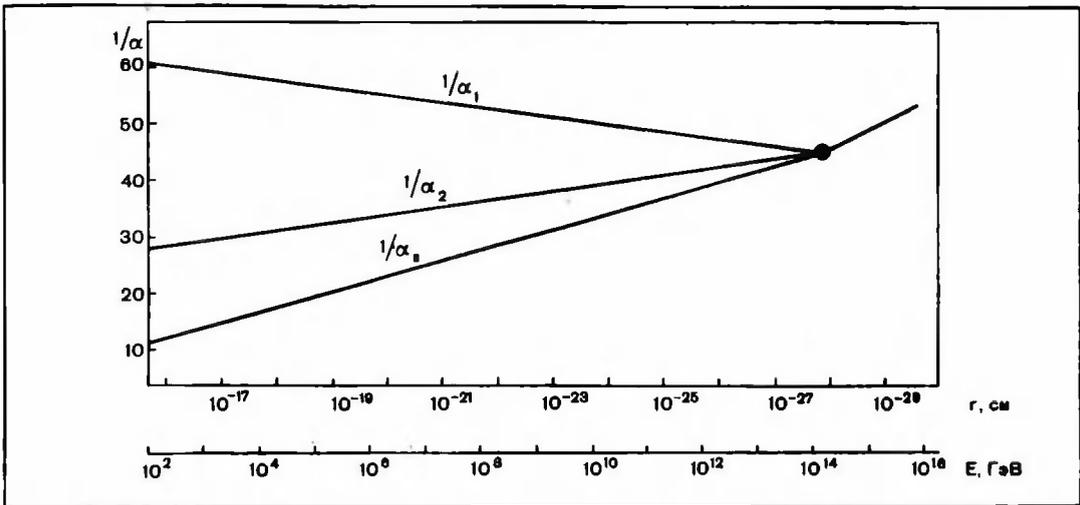
В этом месте осведомленный читатель может упрекнуть меня в недобросовестности. «Дело же не только в вульгар-

ной эффективности различных взаимодействий, — скажет он, — а в первую очередь в безразмерных константах сильного взаимодействия α_s и двух константах электрослабого взаимодействия α_1 и α_2 . А они очень сильно отличаются друг от друга: $\alpha_s \approx 0,20$, $\alpha_1 \approx 0,01$ и $\alpha_2 \approx 0,03$. Вы же говорили о единой безразмерной константе $\alpha_{\text{объед}}$. Так где она?».

Осведомленный читатель прав, но тем не менее единая безразмерная константа $\alpha_{\text{объед}}$ действительно существует. Существует лишь на очень малых расстояниях: $r \lesssim 10^{-28}$ см. При больших r все

электрического заряда в диэлектрике. Молекулы диэлектрика в присутствии точечного заряда поляризуются и уменьшают электрическое поле свободного заряда таким образом, что это эквивалентно уменьшению заряда при удалении от него. В нашем случае роль диэлектрика играет вакуум. В нем рождаются пары виртуальных частиц, которые экранируют электрический заряд точно так же, как и молекулы диэлектрика. Но есть и существенное различие.

Рассмотрим сначала электрический заряд в вакууме. Его взаимодействие с



Эволюционные кривые, описывающие изменение констант взаимодействия α с расстоянием. В однопетлевом приближении, т. е. когда учитывается только одна пара виртуальных частиц, образованных калибровочным бозоном в вакууме, зависимость $1/\alpha$ от логарифма расстояния — линейная. На рисунке изображена шкала расстояний в логарифмическом масштабе, а также шкала энергий (тоже в логарифмическом масштабе), соответствующих данным расстояниям (чтобы приблизиться на расстояние r и исследуемой частице, нелетающая частица должна иметь энергию E [ГэВ] $\approx 2 \cdot 10^{-14}/r$ [см]). Масса объединения m_X и значение константы $\alpha_{\text{объед}}$ определяются точкой пересечения прямых. Чтобы они пересекались в одной точке, необходимо соотношение между α_1 , α_2 и α_s в исходной точке $E_W = 2m_W$ (m_W — масса W-бозона). В качестве такого соотношения выбирают комбинацию α_1 и α_2 , обозначаемую $\sin^2 \theta_W$, где θ_W — угол Вайнберга. Значение $\sin^2 \theta_W$, найденное из условия пересечения прямых, должно попадать в экспериментально разрешенный интервал $0,217 \pm 0,014$.

три константы различны в силу того, что изменяются с расстоянием, или, как говорят, эволюционируют и эволюционируют по-разному.

Изменение констант взаимодействия (зарядов) по природе своей то же самое явление, что и изменение с расстоянием

другими зарядами осуществляется за счет обмена виртуальными фотонами. Виртуальный фотон может образовать электрон-позитронную или кварк-антикварковую пару, а они уже экранируют свободный электрический заряд, уменьшая его с увеличением расстояния. Однако с константой сильного взаимодействия (цветовым зарядом частицы, который для наглядности можно представлять как интенсивность её «цветовой окраски») дело обстоит как раз наоборот. Цветные частицы обмениваются глюонами, которые могут виртуально превращаться не только в кварк-антикварковую пару, но и в два глюона. А поскольку глюоны сами несут цвет, то «интенсивность цвета» вокруг цветового заряда с увеличением расстояния нарастает, или, более строго, цветовой заряд увеличивается с расстоянием. Поразительное явление, понятое всего лишь 10 лет назад! Оно получило название асимптотической свободы.

Расчет показывает, что две из трех констант теории — α_1 и α_2 — убывают

с уменьшением расстояния, а константа α_1 — растет. На некотором расстоянии² $r \sim 1/2m_X$ все три константы должны сравняться и все три взаимодействия превратятся в одно, характеризуемое единой константой $\alpha_{\text{объед}}$. Величина m_X называется массой объединения: она равна массе самых тяжелых калибровочных бозонов объединенной модели.

РАСПАД ПРОТОНА

Каким образом можно экспериментально проверить теорию большого объединения?

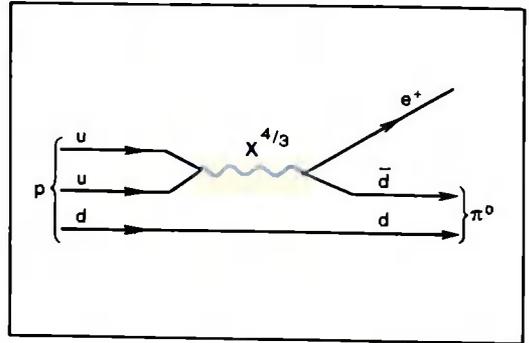
Прямая проверка заключается, естественно, в поиске калибровочных бозонов с массой m_X . Но большинство моделей предсказывает для m_X значение, превышающее 10^{14} ГэВ (на 12 порядков больше массы недавно открытых W- и Z-бозонов). Искать частицы такой массы в ускорительных экспериментах немислимо.

Наиболее прямые сведения о существовании сверхтяжелых калибровочных бозонов и об их массах дал бы распад протона, если бы он был экспериментально обнаружен.

Потенциально распад протона в теории большого объединения обеспечен тем, что «сверхчастица», т. е. мультиплет состояний, содержит кварки и лептоны в качестве равноправных членов; преобразования симметрии единого взаимодействия (вращения в мультиплете состояний) переводят кварки в лептоны и наоборот. Это означает, что кварк в нуклоне может превратиться в лептон и виртуальный сверхтяжелый калибровочный бозон X или Y, который затем может поглотить второй кварк нуклона, если тот окажется поблизости, и превратиться в антикварк. Другими словами, два кварка в нуклоне могут при столкновении перейти в антилептон и антикварк, а это и означает, что протон распадется, поскольку оставшаяся система из кварка и антикварка представляет собой мезон.

² Мы будем пользоваться общепринятой в теории элементарных частиц системой единиц, где \hbar (постоянная Планка) = c (скорости света) = K (постоянной Больцмана). По существу, в этой системе единиц есть единственная размерность — размерность энергии. Массы и импульсы частиц, а также температура, время и расстояния измеряются в энергетических единицах. Например, масса протона $m_p = 0,938$ ГэВ = $1,1 \cdot 10^{13}$ К, а $1/m_p = 2,1 \cdot 10^{-14}$ см = $7 \cdot 10^{-25}$ с. Такая система единиц еще более подчеркивает эквивалентность энергии (или массы) и величин, обратных расстоянию.

Нетрудно получить простую, хотя и крайне грубую оценку времени жизни протона τ_p . Существенным элементом его распада является превращение двух кварков в антилептон и антикварк, происходящее благодаря обмену X- или Y-бозонами с массой m_X . Поэтому вероятность процесса пропорциональна $\alpha_{\text{объед}}^2$ (взаимодействие происходит дважды — при испускании и последующем поглощении калибровочного бозона) и обратно пропорциональна m_X^4 . Таким образом, время жизни протона, которое по определению обратно



Распад протона, происходящий за счет обмена $X^{4/3}$ -бозоном в кварковой реакции $u+u \rightarrow \bar{d}+e^+$. Третий кварк протона (d) находится далеко и оказывается лишь зрителем в этой реакции. Кварк-зритель вместе с родившимся антикварком \bar{d} образует бесцветную π -систему, неизбежно превращающуюся в результате сильного взаимодействия в один или несколько мезонов (π^0 , π^\pm и т. д.). Соотношение между различными каналами распада ($p \rightarrow e^+\pi^0$, $p \rightarrow \bar{\nu}\pi^+$, $p \rightarrow \mu^+K^0$ и т. д.) зависит от модели большого объединения. В подавляющем большинстве моделей сохраняется разность между барнионным и лептонным числом $[B-L]$, и в них при распаде протона всегда образуется антилептон (e^+ , $\bar{\nu}$, μ^+). Поскольку диаграмма содержит две вершины взаимодействия фермионов с X-бозоном, вероятность распада пропорциональна $\alpha_{\text{объед}}^2$. Обмен калибровочным бозоном X дает в вероятность распада множитель $1/m_X^4$.

пропорционально вероятности его распада, есть $\tau_p \sim m_X^4 / \alpha_{\text{объед}}^2$. Для того чтобы правая часть выписанного соотношения имела размерность времени, мы должны еще разделить ее на массу протона в пятой степени. (В наших грубых рассуждениях фигурируют лишь две величины размерности массы: масса протона m_p и масса калибровочного бозона m_X . Величина m_X уже вошла в формулу, так что у нас нет другого выбора, как для получения правильной размерности делить на m_p^5 .) В результате для времени жизни протона получаем

$$\tau_p \sim m_X^4 / \alpha_{\text{объед}}^2 m_p^5$$

Взяв для оценки $\alpha_{\text{объед}} \approx 0,02$, имеем:

$$\tau_p \approx 7 \cdot 10^{27} (m_p / 10^{14} \text{ ГэВ})^4 \text{ лет.}$$

Из этой формулы сразу видно, что для моделей с массой объединения $m_p > 10^{14}$ ГэВ время жизни протона должно превышать 10^{27} лет. Это означает, что в 1 тонне вещества, содержащей $N \sim 10^{30}$ нуклонов, за год распадается не более $N/\tau_p \approx 1000$ нуклонов.

Конечно, это очень грубая оценка. В научной литературе для времени жизни протона обычно используют условную формулу

$$\tau_p = K (m_p / 10^{14} \text{ ГэВ})^4 \cdot 10^{28} \text{ лет.}$$

Безразмерный коэффициент K определяется значением $\alpha_{\text{объед}}$, структурой конкретной модели, спецификой обмена легкими калибровочными бозонами на большом расстоянии и, самое главное, кварковой моделью протона (волновыми функциями кварков в нуклоне). В последнее время, к счастью, с помощью некоторых формальных приемов удалось избежать вычислений, связанных с модельным описанием кварков в нуклоне, и тем самым значительно уменьшить неопределенности теоретического значения K .

Приведенная формула демонстрирует, как сильно зависит время жизни протона от массы объединения m_p . Это обуславливает крайнюю чувствительность τ_p к моделям большого объединения, которые могут давать различные величины масс объединения m_p . К тому же столь сильная зависимость диктует необходимость высокой точности вычисления m_p : достаточно ошибиться в 2 раза, чтобы время жизни протона изменилось в 16 раз.

МОДЕЛИ БОЛЬШОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ; МИНИМАЛЬНАЯ SU(5)-МОДЕЛЬ

В построении моделей большого объединения проявлено не меньше изобретательности, чем в создании моделей женской одежды. Существуют макси-модели и мини-модели, в которых число элементов столь же минимально необходимо, как длина мини-юбки, экзотические модели и модели строгие. Но физическая мода устойчиво отдает предпочтение мини-моделям и расстается с ними только в крайних обстоятельствах.

Неудивительно поэтому, что симпатии физиков в первую очередь были от-

даны так называемой минимальной SU(5)-модели. Во-первых, она основана на наименьшей из простых групп симметрии, содержащих группы симметрии сильного взаимодействия SU(3) и электрослабого SU(2) × U(1). Во-вторых, она имеет минимально необходимое число частиц: ни одна другая модель не может иметь их меньше.

Устройство модели напоминает мне крупноблочный дом. Наиболее бросающимися в глаза ее элементами являются симметричные блоки фермионов, образующие стены «здания»; они хорошо видны и изучены. Однако его жесткий каркас — это калибровочные бозоны, суть и принципиальная основа модели, пронизывающая все ее элементы. А под землей находится невидимый фундамент — хиггсовские частицы (или в «бытовой» терминологии специалистов просто хиггсы). Пожалуй, слово фундамент здесь явно неудачно. Это скорее какая-то эфемерная подставка, можно даже сказать «хиггсовская надувная подушка». Нагретая до высокой температуры, она прекрасно держит все здание, тем более что оно построено из элементов, которые ничего не весят — они безмассовые. Но не дай бог температура окружающей среды упадет ниже критической — произойдет конденсация хиггсовских полей, «подушка» опадет, и вся замечательная симметричная конструкция рухнет.

И рухнула. Рухнула очень давно, когда температура Вселенной, оставаясь все еще немислимой, упала до 10^{27} К. Однако хиггсовская подушка оказалась перегородчатой. Кое-какие ее части остались упругими и поддерживали остатки разрушенного здания. Причудливые его обломки стали менее симметричными: вместо симметрии SU(5) осталась SU(3) × SU(2) × U(1). Вселенная продолжала остывать, и когда ее температура упала до 10^{15} К, произошла конденсация хиггсов в новых подушках, и здание опять осыпалось. Осталась только «фазовая», электромагнитная, симметрия U(1) и симметрия сильного взаимодействия SU(3).

И вот мы бродим среди руин, поднимая обломки и, складывая их, как кубики, пытаемся понять, каким же было все здание. Хотя найденные обломки тяжелые (а некоторые даже очень тяжелые), мы поняли, что когда-то все они были безмассовыми. Но какой была симметрия здания? Самое меньшее — SU(5). Тогда, прикладывая друг к другу отдельные фермионы, мы видим, что здание складывается из тех обломков, которые мы уже

нашли. Больше того, кое-что мы можем предсказать и для каркаса — и новые «раскопки» это подтверждают. Но есть и проблемы, и наибольшие сомнения вызывают именно «хиггсовские подушки». Здесь мы пока ничего не нашли, и, возможно, их устройство вообще понимаем неправильно.

Я надеюсь, что в дальнейшем конкретном описании минимальной SU(5)-модели Вы, читатель, узнаете это причудливое звание моего воображения.

Начнем со стен. Здесь использованы блоки двух размеров. Первый — это

$$(5)_L = \begin{pmatrix} \bar{d}_1 \\ \bar{d}_2 \\ \bar{d}_3 \\ e^- \\ \nu \end{pmatrix}_L \quad (10)_L = \begin{pmatrix} 0 & \bar{u}_1 - \bar{u}_2 - u_3 - d_3 \\ -\bar{u}_1 & 0 & \bar{u}_3 - u_2 - d_2 \\ \bar{u}_2 - \bar{u}_3 & 0 & -u_1 - d_1 \\ u_3 & u_2 & u_1 & 0 & -e^+ \\ d_3 & d_2 & d_1 & e^+ & 0 \end{pmatrix}_L$$

Состав пятиплета $(5)_L$ и декуплета $(10)_L$ фермионов первого семейства в минимальной SU(5)-модели. Значок L показывает, что данный мультиплет содержит только левые компоненты частиц. Однако с помощью операции так называемого зарядового сопряжения из левой компоненты частицы можно получить правую компоненту античастицы. Поэтому $(5)_L$ и $(10)_L$ вместе со своими зарядово-сопряженными выражениями содержат как правые, так и левые компоненты обоих кварков u, d и электрона, но лишь одну, левую, компоненту нейтрино (что соответствует безмассовому нейтрино).

так называемый пятиплет: пятерка безмассовых фермионов: $d_1, d_2, d_3, e^-, \nu_e$. Первые три частицы — это антикварки \bar{d} с тремя цветами, которые мы нумеруем индексами 1, 2 и 3; каждый антикварк имеет барионное число $B = -1/3$ и электрический заряд $+1/3$ (в единицах заряда электрона). Два оставшиеся частицы — это электрон и электронное нейтрино, у которых $B = 0$, а лептонное число $L = 1$. Пятиплет представляет собой низший элемент (представление), на котором может реализоваться группа симметрии SU(5). Ее преобразования заключаются во всевозможных поворотах в пространстве этих пяти состояний, и поскольку мы требуем, чтобы симметрия была локальной, все пять частиц должны переходить друг в друга с испусканием безмассового калибровочного бозона. Антикварк \bar{d}_1 , например, может превратиться в \bar{d}_2 , испустив глюон, электрон e^- — в электронное нейтрино ν_e , испустив W-бозон, и, наконец, что существенно для распада протона, \bar{d}_1 может перейти в e^-

с испусканием сверхтяжелого бозона $X_i^{4/3}$ (характеризующегося цветом i и электрическим зарядом $4/3$) и \bar{d}_i в ν_e с испусканием бозона $Y_i^{1/3}$ (с цветом i и электрическим зарядом $1/3$).

Перебрав таким образом все переходы, мы обнаружим, что модель содержит 24 калибровочных поля: фотон, 8 глюонов, соответствующих переходам между кварками различных цветов, два W-бозона и Z-бозон, осуществляющие переходы между электронами и нейтрино в пятиплете, шесть $Y_i^{\pm 1/3}$ -бозонов, соответствующие переходам трех цветных d_i -кварков в нейтрино и обратно, и, наконец, шесть $X_i^{\pm 4/3}$ -бозонов, осуществляющих переходы $\bar{d}_i \rightleftharpoons e^-$.

Мы установили структуру каркаса, изучая только один блок фермионов — пятиплет. Но симметрия модели требует, чтобы структура жесткого каркаса во всех элементах здания была одинакова и новые элементы калибровочного сектора нигде бы не возникли. Это объясняется тем, что число калибровочных бозонов определяется числом преобразований группы симметрии, а не размерностью представления (числом частиц в мультиплете).

Модель совершенно непринужденно объясняет, почему электрический заряд \bar{d} -кварка равен $+1/3$. Группа SU(5) требует, чтобы любое ее представление, в том числе и пятиплет, имело суммарный электрический заряд равный нулю, а это означает, что заряд \bar{d} -кварка должен быть в три раза меньше заряда электрона и иметь противоположный знак.

К сожалению, низшее представление группы SU(5) — пятиплет — оказывается недостаточно вместительным для всех фермионов. Прежде всего совсем бездомным остался u -кварк. Кроме того, каждый мультиплет может состоять или только из левых, или только из правых компонент частиц. Поскольку наш пятиплет содержит нейтрино, являющееся левой частицей, то и остальные частицы — электрон и антикварк — должны быть левыми. Их правые компоненты надо помещать куда-то еще.

Следующее по величине представление группы SU(5) содержит десять вакансий и называется декуплетом. Десять состояний — это ровно то, что нам осталось разместить: правая компонента электрона, три правые компоненты \bar{d} -кварка (или левые компоненты d_i -кварков) и шесть компонент (левые и правые) u -кварков. Для правого нейтрино места в декуплете нет. Поэтому нейтрино должно быть только левой частицей.

Мы рассмотрели пятиплет и декуплет

фермионов, построенных из частиц u , d , e , ν_e . Но есть еще два набора (семейства) частиц: c , s , μ , ν_μ (c -кварк, s -кварк, мюон, мюонное нейтрино) и t , b , τ , ν_τ (t -кварк, b -кварк, τ -лептон, ν_τ -нейтрино).

Каждый из них размещается в своем пятиплете и декуплете. Таким образом, возникает три параллельных семейства — электронное, мюонное и τ -семейство. Введение трех семейств в объединенной теории — необходимость, мало привлекательная эстетически.

И наконец, перейдем к описанию того своеобразного фундамента здания, которое я назвал хиггсовскими подушками. Этих подушек две — пятиплет и 24-плет хиггсовских частиц. Пока температура Вселенной выше $T_X \sim m_X$, в единице объема содержится $T_X^3 \sim m_X^3$ частиц, и, следовательно, среднее расстояние r между ними меньше $1/m_X$. При этом все три взаимодействия характеризуются единой константой $\alpha_{\text{объед}} = \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3$, которая зависит от расстояния между частицами (т. е. температуры). Все фермионы и калибровочные бозоны при $T > T_X$ остаются безмассовыми. При достижении температуры T_X хиггсовские поля из 24-плета, нейтральные по всем зарядам, «конденсируются», подобно водяным капелькам в перегретом паре, охлажденном до критической температуры. Происходит фазовый переход, образуется новое низшее состояние системы, содержащее хиггсовский конденсат, или, по физической терминологии, новый вакуум. При этом $SU(5)$ -симметрия всей модели нарушается до $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$, т. е. до отдельных симметрий $SU(3)$ — сильного взаимодействия и $SU(2) \times U(1)$ — электрослабого. Одновременно приобретают массу m_X сверхтяжелые калибровочные бозоны X и Y , а единая константа взаимодействия при дальнейшем остывании Вселенной «расщепляется» на три — α_1 , α_2 , α_3 .

Когда температура падает до значений T_W (порядка массы W -бозонов), происходит второй фазовый переход, образуется конденсат нейтральных хиггсовских полей из пятиплета, симметрия нарушается до $SU(3) \times U(1)_{\text{em}}$, и все частицы (W - и Z -бозоны, кварки и лептоны) приобретают массу.

Минимальность модели вызывает жесткость ее предсказаний. В частности, эволюция констант с расстоянием определяется почти однозначно свойствами уже известных частиц. Благодаря этому, если использовать известные экспериментальные величины констант электромагнитного α_{em} и сильного α_s взаимодействий при

низких энергиях, а также фермиевскую константу слабого взаимодействия $G = 1 \times 10^{-5} / \text{м}^2$, то из требования схождения трех эволюционных кривых в одной точке можно вычислить квадрат синуса угла Вайнберга θ_W (который в теории электрослабых взаимодействий является свободным параметром и определяется экспериментально) и одновременно найти величины m_X и $\alpha_{\text{объед}}$. Еще несколько лет назад вычисленное значение $\sin^2 \theta_W = 0,217 \pm 0,006$ находилось в противоречии с экспериментальными данными. Однако в 1980 г. после учета ряда поправок, экспериментально полученное значение $\sin^2 \theta_W$ при энергии $2m_W$ оказалось в блестящем согласии с теоретическими предсказаниями:

$$\sin^2 \theta_W |_{\text{экс.}} = 0,217 \pm 0,014.$$

И все-таки, как ни грустно, приходится расставаться с минимальной $SU(5)$ -моделью. Распад протона стал ее вершиной и ее смертью. В большой степени именно минимальная модель, предсказав в конце прошлого десятилетия время жизни протона $\tau_p \sim 10^{32}$ лет, вызвала настоящий бум в строительстве подземных детекторов для регистрации распада протона. Но за истекшие годы экспериментальный нижний предел на время жизни протона неуклонно возрастал, а прогресс в теоретических вычислениях столь же неуклонно уменьшал предсказываемое время жизни протона. В 1978 г. неопределенность теоретического предсказания описывалась множителем 100. В 1983 г. этот множитель для верхнего предела времени жизни протона уменьшился до скромной двойки. Величина массы объединения по всей совокупности расчетов, выполненных к 1984 г., составляет $m_X = (1,3 \pm 0,2) \cdot 10^{14}$ ГэВ (константа взаимодействия в точке объединения $\alpha_{\text{объед}} = 0,024$). Для канала распада протона $p \rightarrow e + \pi^0$ это приводит к верхнему пределу времени жизни $\tau_p(p \rightarrow e + \pi^0) < 8 \cdot 10^{30}$ лет, в то время как экспериментальное ограничение, полученное в 1983 г. на американской установке ИМБ, составляет $\tau_p(p \rightarrow e + \pi^0) > 2 \cdot 10^{32}$ лет. Это противоречие практически исключает минимальную $SU(5)$ -модель из числа претендентов на правильную модель большого объединения.

Но особенно драматизировать падение минимальной $SU(5)$ не стоит. В последние годы стало понятно, что достаточно самого незначительного расширения ее состава, чтобы увеличить время жизни протона до 10^{33} и даже 10^{34} лет. Для этого можно, например, предположить существование фермионов с массами $m \gg m_W$ или

дополнительного мультиплета (45-плета) хиггсовских частиц. Вопрос состоит в том, есть ли глубинные, «идеологические» мотивы для такой модернизации. Ведь основная идея модели заключалась в том, чтобы не вводить в нее ничего лишнего.

К минимальной $SU(5)$ -модели, как впрочем, и к другим моделям большого объединения, мы имеем много претензий. Часть из них — эстетические. Нам не нравится, что фермионы приходится размещать не в одном, а в двух мультиплетах, да еще вводить три «параллельных» семейства этих мультиплетов. Не может нравиться и то, что для приобретения масс кварками и лептонами приходится вводить взаимодействие между мультиплетами фермионов и хиггсов со специально подобранными величинами констант. И наконец, многим не нравится сама идея хиггсовских частиц и их конденсации, они предпочитали бы получить хиггсы как составные частицы. Но, помимо этих эстетических претензий, $SU(5)$ -модели можно предъявить серьезный упрек относительно некоторых количественных предсказаний. Именуется это проблемой **иерархии масс**.

Для построения $SU(5)$ -модели необходимы два очень сильно различающихся масштаба масс: один — связанный с конденсатом хиггсов в 24-плете ($m_H \sim 10^{14}$ ГэВ), и второй — с конденсатом хиггсов в пятиплете ($m_W \sim 10^2$ ГэВ). Но дело в том, что «легкие» хиггсы нельзя удержать от приобретения сверхтяжелых масс через процессы обмена виртуальными частицами. Чтобы воздвигнуть между двумя хиггсовскими мультиплетами «массонепроницаемую» перегородку, нужен какой-то дополнительный принцип, скорее всего дополнительная симметрия, а минимальная $SU(5)$ -модель ею не обладает.

Симметрия, которая, подобно непроницаемой перегородке, защищает легкий хиггсовский сектор и весь сектор легких ($m \leq 100$ ГэВ) частиц от «перетекания» туда сверхтяжелых масс ($m_H \sim 10^{14}$ ГэВ) через виртуальные процессы, существует и известна. Это — симметрия между частицами с различными спинами, которую называют суперсимметрией, или, уже совсем фамильярно, женским именем Сюзи (от Super SYmmetry).

СУПЕРГРАВИТАЦИЯ И СУПЕРСИММЕТРИЯ

До сих пор мы смотрели на модель большого объединения как бы «снизу

вверх», требуя чтобы при повышении энергии в теорию большого объединения естественно и количественно правильно «впадали» модели и соотношения, справедливые при низких энергиях. Но идя по пути объединения фундаментальных взаимодействий, на этом останавливаться нельзя. Несомненно, что при более высоких энергиях (малых расстояниях) должно произойти еще и объединение гравитационного взаимодействия с тремя остальными: сильным, слабым и электромагнитным.

Если теперь взглянуть на модели большого объединения с этой вершины, то мы вынуждены будем предъявить к ним еще одно требование — они должны быть низкоэнергетическим пределом моделей великого объединения (или супергравитации).

Минимальная $SU(5)$ -модель низкоэнергетическим пределом супергравитации не является.

Объединение гравитации с остальными взаимодействиями порождает особенность, которой не было при объединении трех других взаимодействий. Преобразования симметрии касались там только внутренних характеристик частиц и не затрагивали их пространственно-временных перемещений. Например, мы вводили изотопическое пространство и рассматривали протон и нейтрон как два состояния одной частицы (нуклона) с двумя разными проекциями изотопического спина ($1/2$ и $-1/2$). Поворотом в изотопическом пространстве мы могли перевести проекцию $-1/2$ в $+1/2$, т. е. превратить нейтрон в протон. Но никакими вращениями в изотопическом пространстве, мы, естественно, не могли передвинуть частицу из одной пространственной точки в другую. То же самое относится к преобразованиям $SU(5)$ -симметрии.

Но гравитация, как известно, связана именно с пространственно-временными преобразованиями, описываемыми операциями сдвига P_μ и вращений $M_{\mu\nu}$ ($\mu, \nu = 1, 2, 3, 4$ — пространственно-временные индексы). И теперь мы должны объединить эти преобразования с преобразованиями внутренней симметрии таким образом, чтобы одни переходили в другие. Говоря точнее, можно и нужно допустить, чтобы пространственно-временные преобразования не изменяли внутреннего состояния частиц, но какая-то последовательность операций внутренней симметрии приводила к смещению частицы в пространстве — времени. Это и есть требование, предъявляемое при объедине-

нии соответствующего взаимодействия с гравитацией.

Оказывается, что такой операцией внутренней симметрии является изменение спина частицы. Самым простым примером служит комбинация преобразований сдвига P и изменения спина частицы на $1/2$. Говорят, что эти преобразования образуют группу, если любая их комбинация выражается через эти же преобразования. В частности, последовательность любых двух сдвигов описывается также сдвигом, и, что парадоксально, последовательное применение двух операций изменения спина приводит к смещению частицы в другую точку пространства—времени.

Описанный пример соответствует так называемой минимальной $N=1$ супергравитации, когда имеется только один оператор, изменяющий спин, а мультиплеты частиц (здесь они называются супермультиплетами) содержат только два спиновых состояния, различающихся на $1/2$. Например, кварковый супермультиплет содержит кварк (спин $1/2$) и скварк (спин 0), хиггсовский супермультиплет — хиггс (спин 0) и схиггс (спин $1/2$) и т. д. Теория супергравитации при этом строится как локальная калибровочная теория, но вместо каждого поля теперь входит суперполе, содержащее частицы с двумя спинами. Взаимодействие частиц осуществляется с помощью калибровочных суперполей. Например, электромагнитное — обменом фотонным суперполем, состоящим из калибровочного бозона со спином 1 — фотона и его калибровочного суперпартнера со спином $1/2$ — фотино. Гравитационное взаимодействие осуществляется обменом калибровочным суперполем, состоящим из гравитона (спин 2) и гравитино (спин $3/2$), и т. д. При очень больших энергиях, превышающих массу великого объединения, все частицы безмассовые, а симметрия — точная. В частности, имеется строгая симметрия между частицами с различными спинами в супермультиплетах (суперсимметрия).

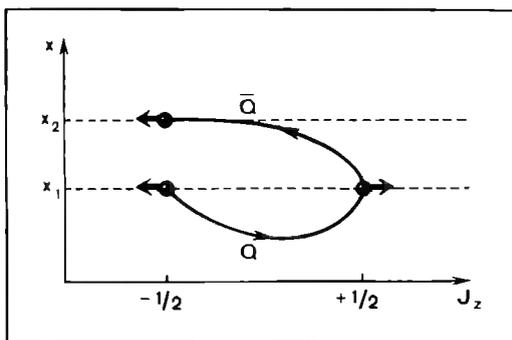
Таким образом, супергравитация должна быть теорией локальной суперсимметрии.

Конечно, при низких энергиях суперсимметрия должна быть нарушенной, в противном случае мы бы уже обнаружили суперпартнеров наблюдаемых частиц с теми же массами.

Массой великого объединения должна, по-видимому, быть планковская масса m_{pl} , определяемая гравитационной константой κ : $m_{pl} = (1/\kappa)^{1/2} \approx 10^{19}$ ГэВ. Ло-

кальная суперсимметрия, связанная с независимыми супервращениями в каждой точке, может нарушаться при энергиях, меньших чем m_{pl} , а глобальная суперсимметрия, связанная с поворотами в спиновом пространстве во всем физическом пространстве одновременно, — при еще более низких энергиях.

На роль механизма нарушения может опять претендовать уже известный нам хиггсовский механизм, который получает приставку «супер», чтобы подчеркнуть, что речь идет именно о нарушении суперсимметрии.



Пространственное смещение частицы в результате двух последовательных операций изменения ее спина. В рассматриваемом нами упрощенном примере минимальной $N=1$ супергравитации супермультиплет состоит из частиц с двумя спинами $S=0$ и $S=1/2$. По аналогии с изотопическим спином, этот супермультиплет можно рассматривать как одну суперчастицу, характеризуемую суперспином — вектором $J=1/2$. Фермион [$S=1/2$] отвечает проекции $J_z=+1/2$, а бозон [$S=0$] — $J_z=-1/2$. Направление суперспина на рисунке показано цветными стрелками. На этом аналогия кончается, т. е. два последовательных вращения [Q и \bar{Q}] в пространстве J -состояний (для наглядности на рисунке изображена только одна пространственная координата x) приводят к пространственно-временному смещению исходной частицы. Таким образом, суперпространство, образованное пространственно-временными координатами x, y, z, t и координатами J_i , оказывается как бы единым.

Однако нарушить суперсимметрию, не входя в противоречие с экспериментальными данными, оказалось непросто. В частности, нельзя использовать для этой цели хиггсовский супермультиплет, построенный на основе уже известных хиггсовских частиц, или даже супермультиплет, вступающий в сильные и электрослабые взаимодействия с супермультиплетами наблюдаемых частиц.

Для нарушения суперсимметрии вводят так называемый скрытый сектор, состоящий из суперчастиц, взаимодействующих с наблюдаемым миром частиц только

Таблица 1

Минимальный набор частиц в Сюзи —
—SU(5)-моделях*

Спин 1	Спин 1/2	Спин 0
фотон (γ)	фотино ($\tilde{\gamma}$)	
глюон (g)	глюино (\tilde{g})	
W-бозон (W)	внио (\tilde{W})	
Z-бозон (Z)	знио (\tilde{Z})	
X-бозон (X)	X-бозино (\tilde{X})	
Y-бозон (Y)	Y-бозино (\tilde{Y})	
	кварки (q)	скварки (\tilde{q})
	лептоны (l)	слептоны (\tilde{l})
	хиггсы** (H)	хиггсы** (\tilde{H})

* тяжелые суперпартнеры изображены красным
** Сюзи — SU(5)-модель содержит два хиггсовских пентаплетта H_1 и H_2 вместо одного в обычной SU(5). Соответственно возникают и два хиггса H_1 и H_2 . Введение двух хиггсовских пентаплетов необходимо для приобретения масс как верхних (u, c, t), так и нижних (d, s, b) кварков.

гравитационно. Как и в обычном хиггсовском механизме, выпадение суперхиггсовского поля в конденсат сопровождается нарушением суперсимметрии и отщеплением от супермультиплета безмассового поля, которым в этом случае является фермион со спином 1/2 — голдстино. Как и в обычном хиггсовском механизме, голдстино поглощается калибровочным супермультиплетом, на этот раз фермионным партнером гравитона — гравитино. В результате гравитино приобретает массу $m_{3/2} \sim m_3^2 / m_{Pl}$, где m_3 — масса, при которой нарушается локальная суперсимметрия в скрытом секторе. Обратите внимание, что нарушение суперсимметрии перешло из скрытого сектора в калибровочный: внутри калибровочного супермультиплета произошло расщепление суперпартнеров по массам — гравитон остался безмассовым, а гравитино приобрело массу. Через гравитационное взаимодействие нарушение суперсимметрии из скрытого сектора проникает и в наблюдаемый сектор, вызывая там расщепление суперпартнеров по массам: $m_{\tilde{b}} - m_{\tilde{t}} \approx m_{3/2}$, где $m_{\tilde{b}}$ и $m_{\tilde{t}}$ — массы бозона и фермиона в супермультиплете. Таким образом, масштаб расщепления масс частиц в супермультиплетах определяется массой гравитино.

Чтобы взглянуть теперь на модель большого объединения как на низкоэнергетический предел модели супергравитации, мы должны устремить планковскую массу к бесконечности, «выключив» тем самым гравитацию, но сохранив конечным

предел m_3^2 / m_{Pl} в скрытом секторе, определяющий массу гравитино и величину расщепления масс в супермультиплетах, т. е. масштаб нарушения глобальной суперсимметрии. Любопытно, что скрытый сектор в этом пределе вообще не взаимодействует с наблюдаемым, т. е. исчезает из теории, оставляя свой след только в виде нарушения суперсимметрии.

Мы должны зафиксировать $m_{3/2} \sim m_3^2 / m_{Pl}$ таким образом, чтобы разрешить проблему иерархии масс. В области энергий виртуальных частиц $E > m_{3/2}$ восстанавливается суперсимметрия, и поэтому эта область не дает вклада в разность масс бозона и фермиона, в частности, в массу легкой хиггсовской частицы. Если выбрать $m_{3/2} \sim 100 - 1000$ ГэВ, то с учетом малости константы взаимодействия виртуальные процессы не дадут «легкому» хиггсу массы, большей чем $m_H \sim 100$ ГэВ.

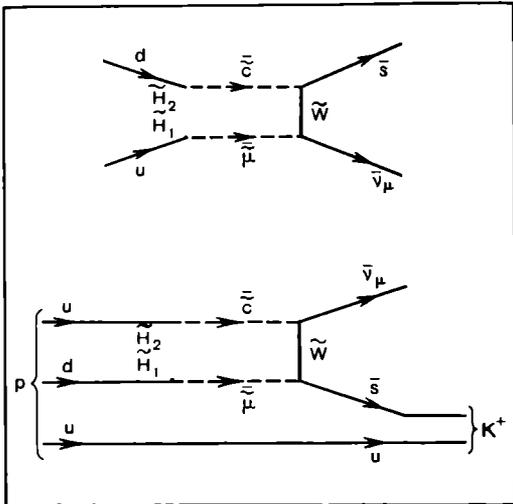
Таким образом, моделью большого объединения, являющейся низкоэнергетическим пределом супергравитации, должна быть модель с нарушенной суперсимметрией. Тяжелый суперпартнер в таких моделях должен быть на $100 - 1000$ ГэВ тяжелее уже известной частицы.

Теперь мы знаем, как расширить минимальную SU(5)-модель до минимальной SU(5)-модели с нарушенной суперсимметрией. Необходимый для этой модели набор частиц приведен в таблице 1.

РАСПАД ПРОТОНА В СЮЗИ — SU(5)-МОДЕЛИ

В суперсимметричных моделях большого объединения с минимальным набором частиц, даваемым таблицей 1, масса объединения возрастает по сравнению с минимальной SU(5)-моделью на два порядка ($m_X \sim 10^{16}$ ГэВ). А это означает, что время жизни протона увеличивается не менее чем в 10^7 раз. Такое значение находится уже за пределами экспериментальных возможностей.

Однако связь суперсимметричных моделей с распадом протона оказалась значительно богаче этого пессимистического заключения. Начать с того, что были сконструированы модели с 10-плетами хиггсовских частиц, в которых масса объединения может быть понижена до $(3 - 10) \cdot 10^{14}$ ГэВ при правильном предсказании угла Вайнберга. Но самое главное — обнаружена очень специфическая возможность распада протона, характерная только для суперсимметричных моделей (причем для очень широкого их класса).



Кварковый процесс $d+u \rightarrow \bar{s}+\bar{\nu}_\mu$ в Сюзи — $SU(5)$ -модели (вверху). При столкновении u - и d -кварков рождаются антискварк $\bar{\xi}$ (скалярный суперпартнер антикварка ξ) и антисмюон $\bar{\mu}$ (скалярный суперпартнер антимюона μ): $u+d \rightarrow \bar{\xi}+\bar{\mu}$. Процесс протекает при обмене двумя сверхтяжелыми сдиггсами H_1 и H_2 . Несмотря на то что этот процесс явно нарушает барионное число (сталкивающиеся u - и d -кварки имеют $B=+2/3$, а образующиеся частицы $\bar{\xi}$ и $\bar{\mu}$ — $B=-1/3$), сам по себе он не может привести к распаду протона, поскольку массы сиварьба и слептонов значительно больше массы протона. Однако виртуальные ξ - и μ -частицы могут, обменявшись виго \tilde{W} , превратиться (как показано на рисунке) в обычные антикварк \bar{s} и антимейтрно $\bar{\nu}_\mu$. Кварк \bar{s} вместе с третьим кварком протона (кварком-«зрителем» u) образуют K^+ -мезон. Протон таким образом распадается по каналу $p \rightarrow K^+\bar{\nu}_\mu$ (внизу). Большая вероятность такого распада (время жизни оценивается величиной $10^{31}—10^{33}$ лет) обусловлена тем, что виртуальной сверхтяжелой частицей является фермион (сдиггс), а не бозон, как в обычных моделях. Благодаря этому, вероятность распада пропорциональна $1/m_X^2$ (m_X — масса объединения), а не $1/m_X^4$, как в минимальной $SU(5)$ -модели. Замечательной особенностью распада протона в суперсимметричных моделях является сильная доминантность канала $p \rightarrow K^+\bar{\nu}_\mu$.

Эта возможность связана с тем, что барионный заряд в суперсимметричных моделях может нарушаться в процессах испускания двух скварков или скварка и слептона при столкновениях двух кварков или кварка и лептона.

Расчет показывает, что при разумных параметрах Сюзи-моделей время распада протона по каналу $p \rightarrow K^+\bar{\nu}_\mu$ может быть порядка $10^{31}—10^{32}$ лет, т. е. в пределах возможностей современных экспериментов. Наблюдение такого распада послужило бы своеобразным автографом суперсимметричных моделей большого объединения.

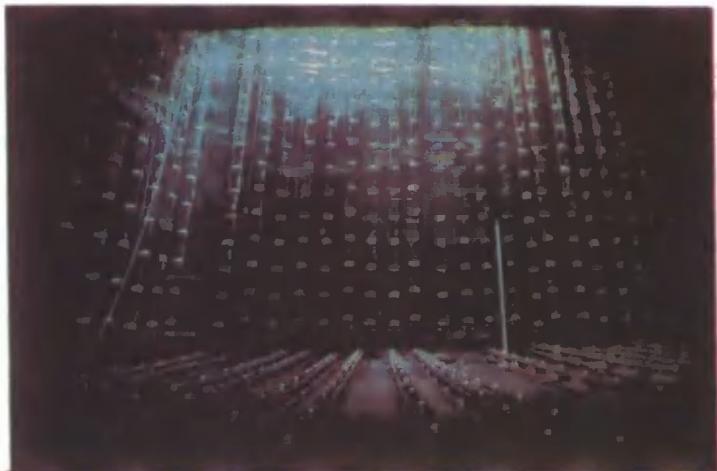
ЭПИЛОГ 1984

Осталось немного — обнаружить распад протона экспериментально. И земной шар буквально опоясался цепью гигантских детекторов. Только часть из них перечислена в таблице 2.

Измерение таких колоссальных времен распада, как $10^{30}—10^{33}$ лет, было бы невозможно ни для каких частиц, кроме нуклонов: только для них можно создать детекторы очень большой массы, где нуклонов так много, что несколько из них может распасться за короткое время наблюдения. Легко оценить необходимое количество нуклонов N , т. е. массу детектора. При времени жизни протона τ_p число нуклонов, распавшихся за время наблюдения t , равно $n=Nt/\tau_p$. Если мы хотим иметь $n=100$ распавшихся нуклонов за $t=1$ год при $\tau_p \sim 10^{32}$ лет, то полное число нуклонов в детекторе должно составлять $N \sim 10^{34}$, а масса детектора (произведение числа нуклонов на их массу) порядка 10^4 тонн. Экспериментальная задача сводится к тому, чтобы в объеме любого вещества массой 10^4 уметь наблюдать частицы — продукты распада нуклона с суммарной энергией около 1 ГэВ.

Детектор необходимо спрятать под толщей грунта или воды для защиты от фона, создаваемого космическими лучами. Особенно опасен фон от мюонов. Проникая глубоко под землю, они могут рождать в детекторе частицы с теми же энергиями, что и при распаде протона. Уменьшить фон от мюонов можно, во-первых, увеличивая глубину расположения установки, а во-вторых, окружив детектор слоем охранных счетчиков, отмечающих случаи прохождения мюонов.

Еще одним чрезвычайно опасным источником фона являются нейтрино, рожденные космическими лучами в земной атмосфере. Атмосферные нейтрино с энергией 1—30 ГэВ, которые могут имитировать распад протона, практически не поглощаются всей толщей земного шара, тем более от них нельзя укрыться под слоем грунта. А имитировать они могут любой канал распада. Например, за распад $p \rightarrow e^+\pi^0$, когда позитрон и пион уносят приблизительно по 500 МэВ, можно принять взаимодействие $\bar{\nu}_e+p \rightarrow n+e^++\pi^0$, где нейтрон отдачи n остается незамеченным. Расчеты показывают, что при времени жизни протона $\tau \sim 10^{32}$ лет количество событий от распада протона и нейтринного фона сравнимы. Продвинуться еще дальше можно ценой тщательного



Детектор ИМБ ($23 \times 18 \times 17$ м), установленный в соляной шахте на глубине 1,6 км водного эквивалента (вид изнутри). На стенках полости, заполненной 8 тыс. т воды, установлены 2048 фотоумножителей, регистрирующих черенковское излучение релятивистских частиц. На снимке, сделанном аквангистом на глубине 20 м, видны источники света, используемые для калибровки установки.

[Фото печатается с любезного разрешения Л. Сулака]

Таблица 2
Крупнейшие установки по детектированию распада протона

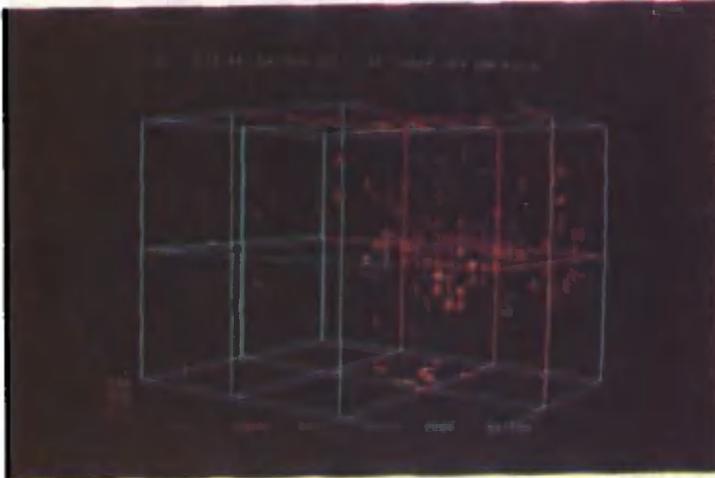
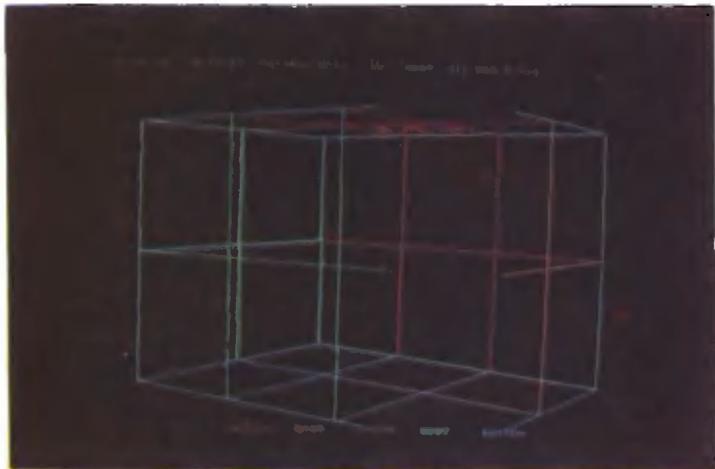
Страна	Название	Глубина, км водного эквивалента	Масса*, т	Тип детектора
СССР	Баксанский нейтринный телескоп	0,85	300(80)	сцинтилляционный
Индия	Колар-Голд-Филд	7,6	140(100)	трековый
Италия	Нусекс	5,2	160(126)	трековый
СССР-Италия	ЖСД (жидкосцинтилляционный детектор)	5,2	200(150)	сцинтилляционный
США	Ирвайн-Мичиган-Бруктейвен (ИМБ)	1,6	8000(3300)	водно-черенковский
Япония	КЕК	2,7	3400(1000)	водно-черенковский
Италия	Гран-Сассо (проект)	4,5	12500	трековый
Франция — ФРГ	Фрежюс (сооружается)	4,5	1500	трековый

* В скобках указана масса чувствительного объема детектора

изучения направления разлета частиц; вероятность имитации противоположного разлета частиц (например, в $p \rightarrow e + \pi^0$) мала для нейтринных реакций. Однако измерение в земных условиях времени жизни протона, заметно превышающего 10^{34} лет, — задача, по-видимому, неразрешимая для сегодняшнего уровня экспериментальной техники.

Первый раунд экспериментального поиска, стимулированного теорией большого объединения и начатый в 1979—1980 гг., не увенчался успехом. Его результатом стало лишь неуклонное повышение нижнего предела на время жизни протона. В частности, одно из первых

ограничений ($\tau_p > 1,5 \cdot 10^{30}$ лет) было получено в СССР на Баксанском сцинтилляционном телескопе Института ядерных исследований АН СССР. А первая установка, предназначенная специально для поиска распада протона, была создана индийскими и японскими физиками в Индии в шахте Колар-Голд-Филд на глубине 7,6 км водного эквивалента. Детектор представляет собой ряды пропорциональных счетчиков, прослоенных стальными листами. Когда один из нуклонов ядра железа распадается, продукты его распада регистрируются пропорциональными счетчиками. На установке было зарегистрировано 4—6 событий, которые авторы считают



Различные этапы прохождения мюона через детектор ИМБ (вся информация хранится в памяти компьютера). Число линий, образующих звездочку, соответствует числу фотоэлектронов, рожденных фотонами в каждом фотоумножителе. Время появления сигнала в фотоумножителе маркировано цветом: фотоумножители, сработавшие первыми по времени, отмечены красным, последними — фиолетовым (шкала соотношения между цветами и временем в наносекундах приведена на снимках сбоку). Вверху — мюон только что прошел через верхнюю стенку детектора. Черенковское свечение излучается под углом 41° к направлению движения мюона. Фотоумножители на верхней стенке (они «смотрят» вниз) засвечены рассеянным черенковским светом, излученным назад. В середине — мюон уже достиг нижней плоскости и засветил фотоумножители, а свет, испущенный в точках траектории между плоскостями, еще не успел дойти до стенок: в воде релятивистский мюон движется быстрее света. Внизу — показаны все фотоумножители, сработавшие за полное время сбора света. Время срабатывания каждого фотоумножителя и число фотоэлектронов в каждом из них (интенсивность света) позволяют с помощью компьютера восстановить треки частиц в наблюдаемом событии и определить их энергии.

распадами нуклона. На основе этих событий время жизни протона было оценено в $8 \cdot 10^{30}$ лет. Однако в последнее время был найден еще один источник фона, который, по-видимому, может объяснить эти события. Он связан с мюонами, пролетающими рядом с детектором. Взаимодействуя с каким-либо атомным ядром в грунте, мюон создает ядерно-электромагнитный каскад, в составе которого имеются нейтроны. Нейтрон влетает в установку, не вызывая сигнала во внешнем охранном слое счетчиков, и, сталкиваясь с ядром в детекторе, вызывает ядерную реакцию, имитирующую распад протона.

Рекордное ограничение на распад протона было получено на установке, называемой сокращенно ИМБ, по названию трех американских научных учреждений: университетов в Ирвайне и Мичигане, и Брукхейвенской национальной лаборатории. Детектор представляет собой гигантский объем воды ($23 \times 18 \times 17$ м) с полной массой 8000 т. Ожидается распад одного из нуклонов ядра кислорода или водорода, которые входят в состав молекулы воды. Наиболее эффективно установка регистрирует канал распада $p \rightarrow e + \pi^0$. Позитрон и два γ -кванта, образующиеся при распаде пиона, порождают в воде три электромагнитных каскада. Излучение электронов в каждом каскаде создает конус черенковского свечения, которое регистрируется фотоумножителями, расположенными на стенках детектора. По величине сигналов в фотоумножителях и по времени их запаздывания относительно друг друга восстанавливается геометрия разлета частиц и их энергия. Событий, которые можно было бы уверенно отнести к распаду протона, на установке ИМБ к 1984 г. обнаружено не было. В результате, ограничение на время жизни протона относительно распада $p \rightarrow e + \pi^0$ составило $2 \cdot 10^{32}$ лет.

Аналогичная установка построена в японском научном центре КЕК в Камиоке. Детектор здесь также представляет собой объем воды, просматриваемый фотоумножителями, расположенными на стенках. Масса воды (3400 т) — несколько меньше, чем в американском эксперименте. На этой установке в 1983 г. было обнаружено одно событие, очень похожее на распад протона $p \rightarrow \mu + \eta^0$. Был зарегистрирован мюон и два каскада от γ -квантов, образовавшихся, по-видимому, от распада $\eta^0 \rightarrow \gamma\gamma$. Измеренные массы η^0 -мезона (525 ± 50 МэВ) и протона (946 ± 50 МэВ) совпадают в пределах ошибок с известными массами этих частиц. Основываясь

на этом событии, время жизни протона по этому каналу распада оценивают величиной $2 \cdot 10^{31}$ лет. Такая оценка противоречит результатам, полученным на американской установке ИМБ, где таких событий с достоверностью обнаружено не было, а это позволяет утверждать, что время жизни относительно такого распада протона должно быть больше $5 \cdot 10^{31}$ лет.

В настоящее время планируется строительство детекторов еще большей массы. В частности, американские физики обсуждают водно-черенковский детектор с массой $(4-6) \cdot 10^4$ т.

По-видимому, с помощью современного поколения детекторов удастся приблизиться к значениям $\tau_p \sim 10^{33}$ лет и уже на этом уровне либо установить ограничение на время жизни протона, либо, если нам неслыханно повезет, открыть его распад. Дальнейший прогресс и сложен, и дорог из-за трудно устранимого нейтринного фона. Чтобы увеличить ограничение на τ_p в 3 раза, масса детектора должна возрасти в 10 раз, а сама установка стать гораздо более информативной. Найдутся ли энтузиасты такого эксперимента? Может быть, проще окажется продолжить поиск распада протона на Луне, где нет фона атмосферных нейтрино?

А что будет, если, даже дойдя ценой неимоверных трудностей до времени жизни $\tau_p \sim 10^{34}$ лет, мы не обнаружим распад протона? И другой прямой свидетель в пользу теории большого объединения — сверхтяжелый магнитный монополь — тоже не будет найден? Другими словами, что если природа, мало заботясь о нуждах исследователя, выбрала масштаб объединения $m_X \sim 10^{15}$ ГэВ или выше?

Тем не менее едва ли физики оставят столь неотразимую идею, как большое или великое объединение. И тогда впервые за всю свою историю физика элементарных частиц окажется лишенной возможности прямой проверки своих основных принципов. Конечно, будут косвенные данные, и они, быть может, будут даже многочисленны... но все-таки это будет уже криминалистика без требования прямых улик.

Станет ли Байкал океаном?

Е. Г. Мирлин



Евгений Гилельевич Мирлин, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией геомагнитных и глубоководных геофизических исследований Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР. Занимается проблемами тектоники и геофизики океанических и континентальных районов. Автор многих научных работ по этим вопросам.

«Славное море священный Байкал...» — в старинной песне крупнейшее озеро в центре Азиатского континента почтиительно называется морем. И есть за что: его огромная протяженность — 640 км — и глубина, местами превышающая 1,5 км, делают, это озеро вполне сходным с типичным морским бассейном. Характерно, что при такой внушительной длине и глубине Байкал довольно узок: его ширина в среднем составляет 35 км. Геологи давно поняли природу своеобразной, сильно вытянутой формы озера и больших глубин его дна. Дело в том, что оно представляет собой рифт — впадину, возникшую при образовании в континентальной литосфере глубокой протяженной трещины. Ее формирование, в свою очередь — результат растягивающих напряжений, которые проявляются и в многочисленных землетрясениях в районе озера.

Образование в континентальной литосфере глубоких трещин растяжения и рифтов — весьма распространенное явление в геологической истории Земли. На континентах известно много активных в настоящее время и уже отмерших рифтовых впадин и рифтовых зон.

Рифты отмирают, когда исчезают горизонтальные растягивающие напряжения в континентальной литосфере. Если они пре-

кратились до того, как она была разорвана, то образуются пассивные рифты континентального типа. Когда горизонтальные растяжения воздействуют на литосферу в течение длительного времени и плиты раздвигаются, на месте континентального рифта образуются океанические впадины, по оси которых располагаются срединно-океанические хребты. Именно таким путем — за счет раскола единого мегаконтинента Пангеи и раздвижения континентальных плит на сотни и даже тысячи километров — были сформированы Атлантический, Индийский и Северный Ледовитый океаны.

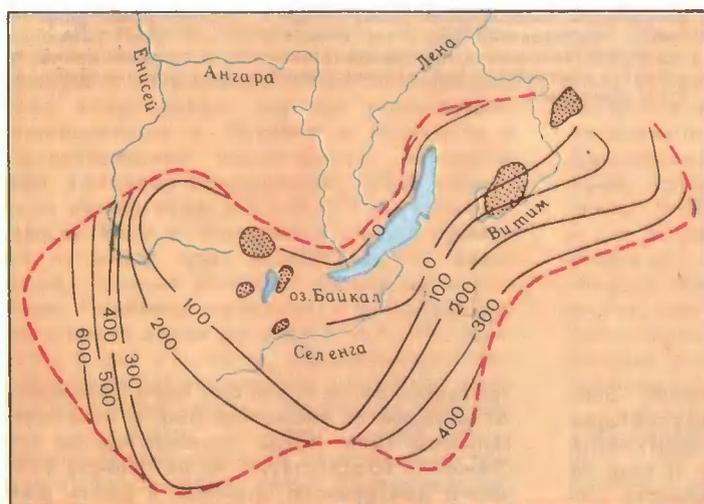
Возникает вопрос: какие условия необходимы для того, чтобы континентальный рифт развился в океанический центр разрастания дна? Зная эти условия, можно было бы предсказать, уготована ли Байкалу и другим современным континентальным рифтам судьба превратиться в новые океаны на Земле, либо тектоническая активность со временем в них прекратится и они станут типичными представителями «неудавшихся океанов» — структур растяжения континентальной литосферы геологического прошлого.

Разумеется, нас интересует не столько отдаленное будущее Байкала — ведь даже если он превратится в океан, то для этого понадобятся десятки миллионов лет.

Судьба Байкала и других континентальных рифтов в геологическом будущем — это, в сущности, вопрос о силах, раздвигающих огромные плиты литосферы, т. е. центральная проблема в современной геодинамике.

Существуют различные способы ее решения, неоднократно обсуждавшиеся в печати. Длительное время изучая рифтогенез Земли, автор этой статьи пришел к выводу, что подойти к решению этой проблемы можно, анализируя различные стадии развития самих рифтов и те тектонические и вулканические процессы, которые

связаны с процессом пробегания поверхностных волн от землетрясений¹. Толщина линзы аномальной мантии составляет 100—150 км, а ее проекция на поверхность Земли охватывает очень большую область: всю провинцию горных сооружений Южной Сибири и Монголии, куда, кроме Байкальской рифтовой зоны, входят Восточный и Западный Саяны, Алтай, Хангай, возвышенности Забайкалья. По гравитационным данным, в мантии Байкальского региона также наблюдается понижение плотности, хотя области сейсмических и плотностных неоднородно-



Стен расположения обширной линзы мантийного вещества с аномальными физическими характеристиками под Байкальским рифтом. Верхняя граница линзы в пределах рифтовой зоны находится на относительно малых глубинах, непосредственно под корой. На юго-восток и юго-запад в сторону от Байкала кровля мантийной неоднородности погружается до глубины 300—400 км [по В. А. Рогожиной, 1977].

-  Граница проекции линзы аномальной мантии на земную поверхность
-  Глубина от подошвы коры до поверхности линзы (в км)
-  Поля неоген-четвертичных базальтов

сопровождают раскол и разделение континентов.

ВОЗМОЖНАЯ ПРИЧИНА РАСТЯЖЕНИЯ ЛИТОСФЕРЫ В КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ РИФТАХ

В настоящее время большинство исследователей видит причину растяжения литосферы в континентальных рифтовых зонах в том, что под ними с больших глубин поднимается и затем растекается мантийное вещество с пониженной плотностью и высокой температурой. Такая точка зрения имеет основания. Практически все активные в настоящее время рифтовые зоны континентов пространственно связаны с областями аномальной мантии, в которых зарегистрированы пониженные скорости сейсмических волн и которые, скорее всего, образованы за счет всплытия с больших глубин легких масс вещества. Не является исключением и Байкальский рифт. Низкоскоростная неоднородность под ним и близлежащими районами обнаружена при изу-

стей не совсем совпадают. Характерно, что к проекции области мантии с аномальными физическими характеристиками на поверхность приурочены проявления кайнозойского вулканизма и гидротермальной деятельности; именно в пределах этой области отмечены наиболее высокие значения теплового потока.

Аналогичные мантийные неоднородности установлены и в других регионах растяжения континентальной литосферы. Так, например, в пределах рифтовой зоны на западе США — Провинции Бассейнов и Хребтов обнаружено запаздывание продольных волн, связанное с существованием низкоскоростного слоя на глубинах 45—220 км.

В Восточно-Африканской рифтовой системе при гравиметрических исследованиях выявлены обширные минимумы силы

¹ Рогожина В. А. Область пониженной скорости сейсмических волн в верхней мантии. — В кн.: Очерки по глубинному строению Байкальского рифта. М., 1977, с. 29.

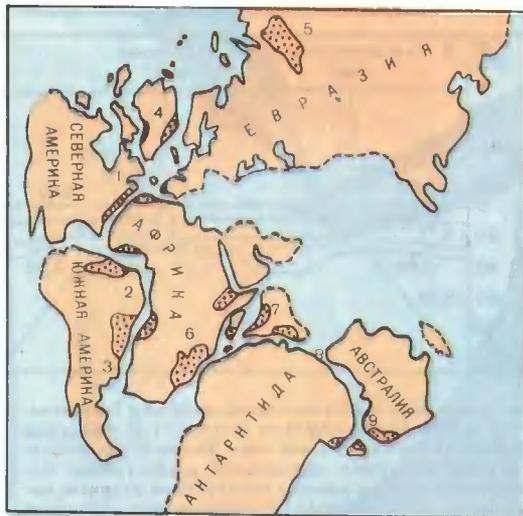
тяжести, обусловленные значительным разуплотнением вещества мантии. В плане они совпадают с участками развития вулканических пород. Аналогичная линза аномальной мантии, проекция которой на земную поверхность в поперечном сечении превышает 150 км, обнаружена в районе Рейнского грабена. Все это указывает на общность в глубинном строении всех континентальных рифтовых зон, и это имеет очень важное значение для понимания природы рифтогенеза.

ИНТЕНСИВНОСТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОСХОДЯЩИХ ПОТОКОВ НА КОНТИНЕНТАЛЬНУЮ ЛИТОСФЕРУ

Идея о восходящих потоках мантийного вещества (их еще называют мантийными струями или мантийными плюмажами) как о причинах формирования рифтов и вулканических проявлений уже давно высказывается многими исследователями. Ранее считали, что эти потоки, пронизывающие всю мантию, имеют примерно одинаковую энергию. Однако проведенный нами анализ кинематики современных рифтов — скорости и амплитуды раздвижения плит — приводит к выводу, что эти потоки существенно различаются. Чем больше параметры кинематики, тем большей энергией обладает поток, раздвигающий континентальные плиты. Так, Байкальский рифтовый грабен образовался за счет раздвижения плит амплитудой всего 5—6 км, причем средняя скорость этого раздвижения, начиная с олигоцена, когда началось формирование грабена, составляла менее 1 мм/год. Примерно такие кинематические характеристики свойственны Рейнскому рифту. В Кенийском рифте, входящем в Восточно-Африканскую рифтовую систему, амплитуда раздвижения составляет уже 10—20 км, а скорость 3—5 мм/год. Еще больший масштаб раздвижения наблюдается в северной части Восточно-Африканской рифтовой системы, в районе рифта Афар. Здесь амплитуда горизонтального раздвижения достигает 100 км, а скорость 10 мм/год.

Показателем интенсивности воздействия восходящих потоков мантии на континентальную литосферу могут служить также объемы излившихся пород, сосредоточенных в ареалах распространения базальтов, которые пространственно связаны с рифтовыми зонами. Как и кинематические характеристики рифтов, площади этих ареалов и объемы вулканических пород в них весьма различны. Так, например, в Байкаль-

ском рифте площади распространения неоген-четвертичных базальтов невелики, объемы базальтовых лав в этих вулканических провинциях составляют 1000—5000 км³. В Рейнской рифтовой зоне поля базальтовых вулканитов локализованы примерно так же, как и в Байкальском рифте, и их объемы не превышают 200 км³. В рифтовой зоне на западе США вулканических пород значительно больше, чем в Байкальском и Рейнском рифтах. Наиболее мощной вулканической деятельностью среди современных рифтов отличаются Эфиопский и Ке-



Распад Пангея на отдельные континенты. Этот процесс сопровождался интенсивными излияниями базальтов, в результате которых были образованы обширные плато-базальтовые провинции, показанные на рисунке 1 — Центральноатлантическая, 2 — Амазонки, 3 — Параны-Каоковельд, 4 — Брито-Арктическая, 5 — Сибирская, 6 — Карру, 7 — Декан, 8 — Раджмахал, 9 — Тасманий.

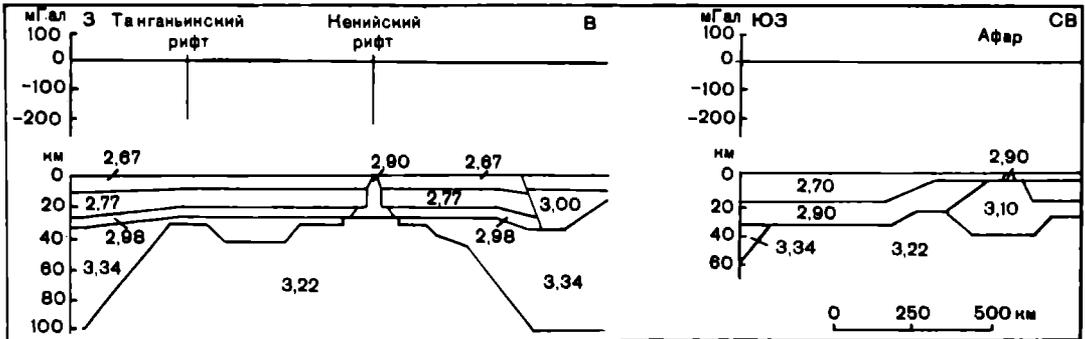
нийский рифты. В Эфиопии и Афаре объем вулканитов составляет примерно 500 тыс км³, а в Кении — 24 тыс км³. Появление на поверхности столь значительных количеств вулканических пород связано с растрескиванием литосферы на большой площади, которое, в свою очередь, обусловлено ее растяжением в связи с воздействием притока горячего глубинного вещества.

Нетрудно заметить, что оба показателя интенсивности эндогенного воздействия: кинематические характеристики рифтов и объемы вулканической деятельности — коррелируют друг с другом. Рифты с большими горизонтальными скоростями и амплитудами раздвижения плит приурочены к

обширным вулканическим провинциям, и, наоборот, медленно раздвигающиеся рифты с небольшой амплитудой раздвижения характеризуются относительно небольшим масштабом вулканических проявлений.

Имеется еще один показатель интенсивности восходящего потока: пространственно-временные соотношения между вулканической деятельностью и образованием рифтов. Связано это, очевидно, с тем, что эффект воздействия глубинного потока в значительной степени зависит от объема вещества в нем и, следовательно, от его

руются в пределах узкой линейной зоны вдоль оси рифтовых грабен. Именно такая последовательность событий описана В. Г. Казьминим в Эфиопии, где излияния плато-базальтов начались в нижнем эоцене, и лишь в позднем эоцене в пределах уже сформировавшегося вулканического ареала произошло заложение двойной системы Красноморского и Аденского рифтов. После формирования системы рифтов излияния базальтов, рассредоточенные на большой площади, сменились вулканическими проявлениями, сконцентрированными в узкой линейной зоне. Сходная картина на-



Интерпретация гравитационного поля над Танганьикским и Кенийским рифтами (слева) и Афарским рифтом (справа). Поле силы тяжести над рифтами характеризуется обширными минимумами. Построенные по этим данным плотностные разрезы, показанные ниже кривых гравитационных аномалий, свидетельствуют, что минимумы обусловлены разуплотнением верхней мантии. Вертикальный канал повышенной плотности в земной коре Кенийского рифта связан с внедрением в нее базальтовых магм. Цифры на рисунках — плотности основных слоев земной коры и мантии в $г/см^3$.

энергетического потенциала. В рифтовых зонах со слабым вулканизмом и малыми амплитудами и скоростями раздвижения плит, как, например, в Байкальском и Рейнском рифтах, эти пространственно-временные соотношения затушеваны. Напротив, при мощном эндогенном воздействии связь между образованием вулканических полей и рифтов проявляется весьма отчетливо, например в северной части Восточно-Африканской системы. Здесь вполне ясно устанавливается историко-геологическая общность условий образования обширных полей базальтов: их формирование предшествует образованию рифтов и расколу континентальной литосферы. Затем на месте вулканического ареала закладывается система из двух либо трех расходящихся друг от друга под углом рифтов, а вулканические породы концентри-

руются в Кенийском рифте, где образование плато-базальтов началось в нижнем миоцене, а формирование рифтовых грабен относится к плиоцену.

Еще более ярко пространственно-временные соотношения между вулканическими проявлениями и образованием рифтов устанавливаются при анализе истории разделения континентов и раскрытии океанов.

РАСПАД ПАНГЕИ И ПЛАТО-БАЗАЛЬТОВЫЙ ВУЛКАНИЗМ

В течение палеозоя, когда основной тенденцией в перемещениях континентов было их сближение в единый мегаконтинент, интенсивность излияний вулканических пород в их пределах была относительно невысокой. Однако эпоха распада Пангеи в конце палеозоя — начале мезозоя представляет собой важный рубеж в жизни нашей планеты, отмеченный исключительно мощной вулканической деятельностью и развитием многочисленных рифтовых зон. В результате интенсивных излияний базальтов были сформированы плоские вулканические плато, протягивающиеся на сотни и тысячи километров. Объем продуктов извержений в отдельных плато-базальтовых вулканических провинциях огромен и колеблется от 1 до 10 млн $км^3$.

Формирование провинций плато-базальтов в мезозое и кайнозое происходило не одновременно, они возникали в разных частях Пангеи.

Однако и во времени, и в пространстве наиболее крупные плато-базальтовые поля обнаруживают тесную связь с распадом мегаконтинента. Его разделение также происходило не одновременно, а поэтапно, причем в течение каждого из этапов от Пангеи откалывались блоки континентальной литосферы, ставшие впоследствии современными континентами. Отделению каждого континентального блока предшествовал мощный базальтовый вулканизм, с которым пространственно были связаны рифтовые зоны, становившиеся впоследствии линией разлома континентальной литосферы.

Последовательность событий, которые привели к расколу мегаконтинента, а также пространственно-временные соотношения между образованием полей вулканизма и рифтов отчетливо прослеживаются в истории образования Атлантического океана. Наиболее древняя его часть располагается к северу от экватора между западным выступом Африки и Северной Америкой. Согласно палеомагнитным данным, разделение континентов и образование океанической коры началось здесь в поздней юре: около 150 млн лет назад. Расколу континентов предшествовало образование базальтовых полей в поздней перми — раннем триасе на западе Африканской платформы и в пределах складчатых сооружений на востоке Северной Америки. Первоначальная рифтовая трещина продвигалась от этого вулканического ареала (т. е. от центра восходящего потока) на север в глубь мегаконтинента, как бы «вспарывая» его.

Разделение Южной Америки и Африки началось примерно 120 млн лет назад, но и в этом случае перед крупномасштабным раздвижением континентальных плит развивался мощный базальтовый вулканизм в пределах провинций Параны на юго-востоке Южной Америки и Каоковельд в юго-западной части Африки. Перед разделением континентов эти провинции составляли единое целое, но затем были разделены в результате раздвижения континентов.

Норвежско-Гренландский бассейн, расположенный на стыке Атлантического и Северного Ледовитого океанов, начал формироваться в раннетретичное время, около 60 млн лет назад, когда Гренландия отодвинулась от северо-западной Европы.

Предшествующая образованию бассейна вулканическая деятельность концентрировалась в Брито-Арктической провинции плато-базальтов, выходы которых известны на западном и восточном побережьях Гренландии и на Британских о-вах. На месте вулканического ареала, располагавшегося, по-видимому, над центром восходящего потока, образовалась трехлучевая система рифтов. В результате развития этой трехлучевой системы и продвижения рифтовых трещин в стороны от центра образовался небольшой по размерам «осколок» конти-



Восточно-Африканская рифтовая система. Среди современных рифтовых зон она выделяется мощным вулканизмом, в результате которого сформированы обширные ареалы плато-базальтов.

-  Границы основных рифтовых зон
-  Трансформные разломы
-  Ареалы плато-базальтов

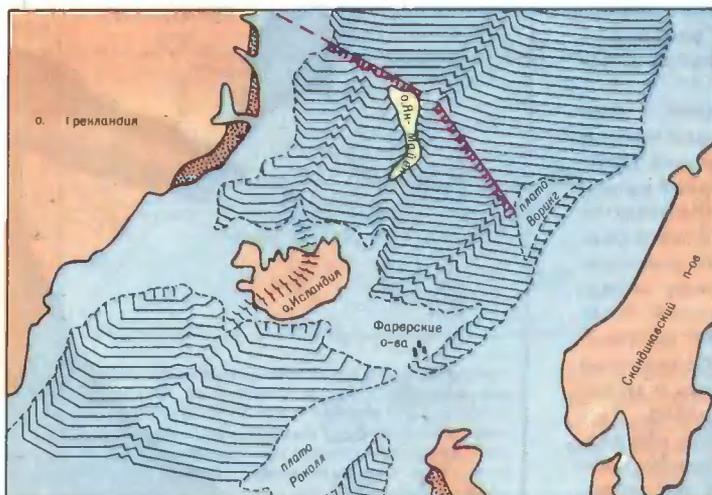
нентальной литосферы — Ян-Майенский хребет, названный так по небольшому венчающему его острову Ян-Майен. Впоследствии растяжение в одной из ветвей трехлучевого сочленения прекратилось, и в настоящее время хребет ограничен одной активной осью разрастания дна океана, одним отмершим океаническим рифтом и трансформным разломом. Такой

же «осколок» континентальной литосферы имеется в Восточной Африке. Им является Данакильский блок, ограниченный с разных сторон рифтами Афара, Красного моря и Аденоского залива.

Поскольку Норвежско-Гренландский бассейн образовался в геологическом масштабе времени относительно недавно, всего лишь около 60 млн лет назад, мощное воздействие восходящего мантийного потока отчетливо проявляется в строении региона, отличающегося от других океанических бассейнов. Уровень дна океана во всем бассейне в среднем более чем на

чекских хребтов в стороны от центра восходящего потока.

Раскрытие Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана, начавшееся около 60 млн лет назад, также происходило ножницеобразно, с продвижением рифта от Шпицбергена в сторону моря Лаптевых. При этом первоначальная трещина также распространялась в сторону от вулканического ареала, поскольку Шпицберген был затронут базальтовыми излияниями в мелу и палеогене, т. е. практически одновременно с образованием Брито-Арктической провинции.

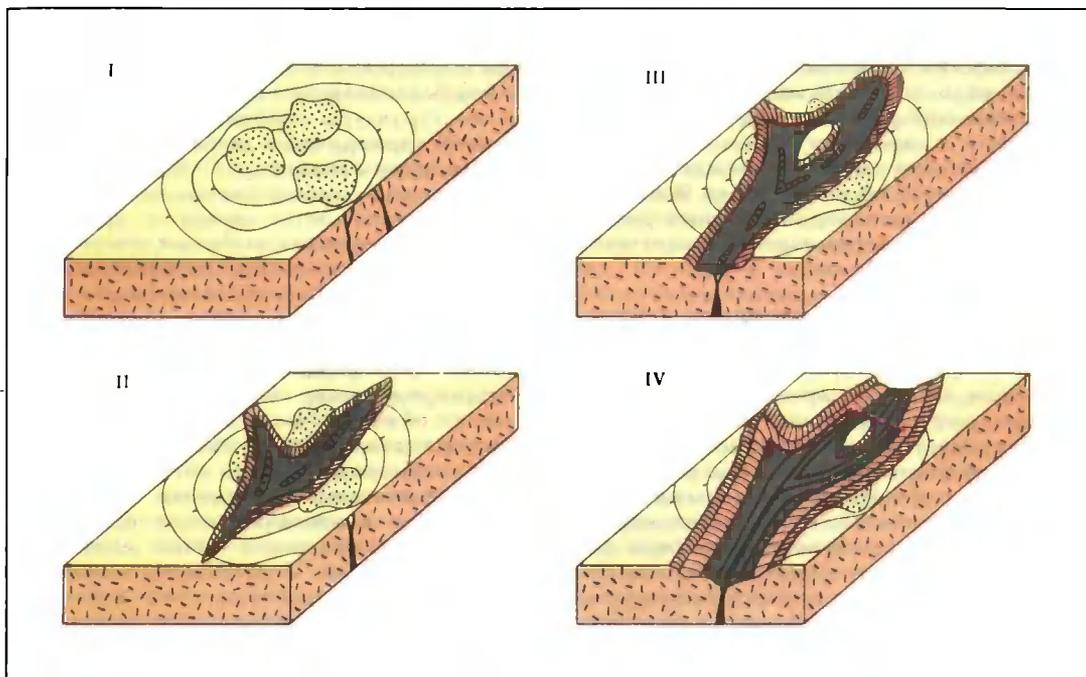


Структура дна Исландского региона, в котором проявляется интенсивное воздействие восходящего потока. Срединный хребет выступает над поверхностью океана в виде вулканического острова Исландия, и примыкающие к ней срединно-океанические хребты сужаются по мере удаления от островов.

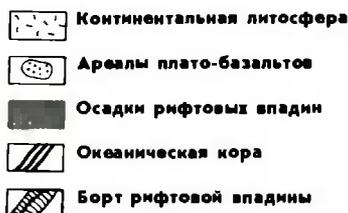
-  Плато-базальты Брито-Арктической провинции
-  Трансформные разломы
-  Центральный рифтовый грабен Исландии

километр приподнят по отношению к уровню нормального океанического ложа. Гребень Срединно-Атлантического хребта выступает здесь над поверхностью океана в виде крупнейшего на Земле вулканического острова Исландия, образовавшегося на месте первоначального вулканического ареала плато-базальтов. К этому региону приурочена одна из самых крупных на нашей планете положительных аномалий геоида — свидетельство того, что восходящий мантийный поток как бы приподнимает кровлю литосферы, создавая громадное ее вздутие, отражающееся в гравитационном поле. О растекании восходящего потока можно судить по морфологии прилегающих к Исландии срединно-океанических хребтов. Вблизи острова они имеют значительную ширину и сужаются по мере удаления от него. Соответственно, в этом же направлении увеличиваются глубины гребней хребтов. Такая морфология, скорее всего, создана за счет перетекания вещества под гребнями срединно-океани-

История раскрытия Индийского океана сложнее, чем Атлантического, однако и здесь отмечается указанная закономерность: образованию отдельных его частей предшествовала исключительно мощная вулканическая деятельность. Формирование одной из наиболее крупных вулканических провинций Карру на юго-востоке Африки происходило в позднем триасе и юре, после чего начались движения плит в западной части океана, и в частности отделение Мадагаскара от Индии. На рубеже юры и мела возникло поле плато-базальтов Раджмахал в восточном Индостане, а в позднем мелу — Деканское плато в западной его части. Соответственно и крупномасштабные движения континентальных плит к западу от Индостана начались несколько позднее, чем к востоку от него: в раннем палеоцене и в позднем мелу. Разделение южных материков — Австралии и Антарктиды — и отделение от них «осколка» континентальной литосферы — острова Новая Зеландия с прилегаю-



Пространственно-временные соотношения между излияниями вулканических пород и образованием рифтов. Вначале образуются обширные области плато-базальтов, а кровля литосферы несколько приподнимается (I). Затем формируется двух или трехлучевое сочленение рифтов (II). Далее рифты продвигаются в стороны от центра восходящего потока, откалывая небольшие «осколки» континентальной литосферы — «микроконтиненты» (III). На следующем этапе начинается спрединг — процесс образования океанической коры в узкой зоне (IV).



щими к нему поднятиями — произошло в результате развития тройного сочленения рифтов, развивавшегося на месте ареала плато-базальтов в юго-восточной части Австралии, на острове Тасмания и в Антарктиде.

Намечается, таким образом, общая закономерность в формировании небольших фрагментов континентальной литосферы типа Ян-Майенского хребта, островов Новая Зеландия, Мадагаскар и других, расположенных ныне среди океанических пространств. Эта закономерность состоит в том, что их отделение от основных конти-

нентальных массивов происходило на ранних стадиях раскрытия океанов и связано с зарождением и развитием трехлучевого сочленения рифтов над восходящими исключительно мощными мантийными потоками.

Важно отметить различия в закономерностях пространственного размещения вулканических проявлений в пределах континентального и океанического сегментов Земли в эпоху распада Пангеи. Если в пределах континентов в этот период формировались огромные по площади и объему излившихся пород плато-базальтовые провинции, то в океанах вулканические проявления носили главным образом рассредоточенный характер. В них широко развиты многочисленные подводные вулканы и цепочки подводных гор вулканического происхождения, которые на континентах имеют весьма ограниченное распространение. Так, например, в Тихом океане наибольшее количество подводных гор приходится на те провинции, которые имеют наибольший возраст ложа: 100—140 млн лет и более. При этом, судя по аномалиям поля силы тяжести над ними, большинство из гор образовалось не на гребне срединного хребта, а на значительном удалении от него, т. е. вулканизм носил внутриплитный характер.

Высокая концентрация вулканических пород в отдельных, значительных по пло-

щадии провинциях на континентах и, напротив, рассеянный характер внутриплитных вулканических проявлений в океанах свидетельствует о том, что мантийные потоки существуют по-разному воздействовали на литосферу в пределах континентального и океанического сегментов Земли в эпоху распада единого мегаконтинента. Этот важный факт, несомненно, необходимо учитывать в модели перемещения вещества в глубоких недрах Земли.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ БУДУЩЕЕ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ РИФТОВ

Итак, анализ материалов по континентальным рифтовым зонам и их вулканизму показывает, что разрыв континентальной литосферы и образование на месте этого разрыва океанической впадины происходит в определенной последовательности. Вначале в континентальной литосфере образуется область расщепленного на обширной площади интенсивного растяжения, что приводит к обильным излияниям вулканитов и образованию провинций плато-базальтов. Затем происходит сокращение объемов вулканических пород и их концентрация в линейных рифтовых зонах, которые продвигаются в стороны от вулканического ареала, откалывая от единого континентального массива отдельные блоки. Эти этапы, по всей вероятности, соответствуют стадиям развития восходящих мантийных потоков. Подходя снизу к континентальной литосфере, потоки горячего вещества вызывают ее разогрев, растрескивание и, как следствие, мощную вулканическую деятельность на значительных площадях. Последующее растекание аномальных масс обуславливает постепенное «вспарывание» континентальной литосферы в одном, двух и даже трех направлениях и образование линейных рифтов. Подъем масс аномальной мантии к континентальной литосфере и их последующее растекание могут повторяться неоднократно и происходят в разных местах, в результате раскол единого мегаконтинента осуществляется поэтапно, причем в течение каждого из этапов последовательность событий повторяется, и по этой причине единый континентальный массив дробится на отдельные фрагменты.

Если в мантии действительно существуют восходящие потоки вещества, то в ней развиваются и компенсационные его опускания, т. е. в недрах Земли, вероятно, существует конвекция. В настоящее время наиболее развитой является модель хи-

мико-плотностной, или гравитационной, конвекции². На основе теоретических оценок считалось, что энергетически наиболее выгодными являются одно- либо двухъячейные структуры конвективных движений, причем периодически должна происходить смена формы конвекции³. Численное моделирование химико-плотностной конвекции показало, что, наряду с крупными квазистационарными ячейками, могут существовать и более мелкие, короткоживущие. Последние особенно характерны для периода перестройки режима циркуляции, который характеризуется всплыванием к подошве литосферы и растеканием легких неоднородностей, имеющих различную массу, объем и кинетическую энергию⁴. Соответственно, интенсивность воздействия этих неоднородностей на литосферу меняется в значительных пределах.

Фазы конвекции имеют продолжительность в несколько сотен миллионов лет и, по всей вероятности, именно с ними связана цикличность во взаимном расположении континентов. Континенты обнаруживают тенденцию соединяться в один-два крупных мегаконтинента, либо, наоборот, разобщаться в мелкие, разрозненные блоки. Существование в позднем палеозое одного мегаконтинента Пангеи и единственного окружающего этот континент океана означает, по-видимому, что в мантии Земли в то время конвекция имела относительно простую структуру. Распад Пангеи соответствует перестройке структуры конвективной циркуляции в более сложную, состоящую из небольшого числа основных и из многих нестационарных и более мелких ячеек. Разобшение мегаконтинента, как это и вытекает из модели конвекции, сопровождалось всплыванием и растеканием под литосферой многочисленных потоков аномально легких мантийных масс. Следями такого эндогенного воздействия на литосферу на начальном этапе перестройки явились позднепалеозойские — раннетриасовые провинции плато-базальтов и погребенные грабены-рифты в Западной Сибири, в Африке, на Южно-Китайской платформе, которые так и не превратились в зрелые океанические впадины. Затем отдельные потоки мантийных масс ста-

² Артюшков Е. В. — Известия АН СССР, сер. Физика Земли, 1968, № 9, с. 3.

³ Мюни А. С., Сорохтин О. Г. — Доклады АН СССР, 1977, т. 234, № 2, с. 413.

⁴ Кеонджян В. П. — Известия АН СССР, сер. Физика Земли, 1980, № 8, с. 3.

ли объединяться в обособленную ветвь конвекции, что привело в конечном итоге к появлению конвективной циркуляции новой структуры и полному распаду Пангеи на отдельные континенты.

Тот факт, что в эпоху распада Пангеи подъем мантийного вещества по-разному проявился на континентах и в океанах, возможно, связано с тем, что новая ветвь конвективной циркуляции формировалась именно под единым мегаконтинентом, который по этой причине подвергался интенсивному воздействию многочисленных, разномасштабных поднимающихся потоков мантийного вещества.

Не исключено, что некоторые из вулканических и рифтовых областей и связанные с ними мантийные неоднородности могли возникнуть и иным путем: при столкновении и взаимодействии литосферных плит. Как показывают палеомагнитные исследования, отдельные континенты, обособившиеся при распаде Пангеи, двигались затем по сложным траекториям и в некоторых случаях сталкивались между собой. Столкновения могли приводить к растрескиванию континентальной литосферы, подъему мантийного вещества по трещинам и его последующему растеканию под земной корой. Так, например, система Байкальских рифтов и линза мантийного вещества с аномальными физическими характеристиками под ней могли образоваться в результате столкновения и взаимодействия крупных литосферных плит: Евразийской и Индийской⁵. Нет сомнения, однако, в том, что линза аномальной мантии, образовавшаяся в результате столкновения плит, должна значительно уступать в размерах и энергетическом потенциале тем мантийным неоднородностям, которые возникают в результате подъема с больших глубин огромных масс аномально легкого вещества.

Океаническая литосфера в силу большей реологической однородности и меньшей мощности, чем континентальная литосфера, несколько по-другому реагирует на те напряжения, которые возникают в результате столкновения плит. В ней возникают, вероятно, не отдельные зоны растяжения, а многочисленные трещины или же области повышенной проницаемости — своего рода «дыры», через которые на поверхность поступают продукты плавле-

ния мантийного вещества. Так образуются отдельные подводные вулканы, цепочки подводных гор вулканического происхождения или вулканические массивы.

Таким образом, проведенный нами анализ фактических материалов и моделирование возможной структуры мантийной конвекции приводят к выводу, что масштабы эндогенного воздействия на литосферу могут изменяться в значительных пределах. Отсюда, в свою очередь, вытекает, что уровень эволюции рифтовых зон зависит от масштаба этого воздействия. Если энергетический потенциал последнего относительно невелик, то разрыва литосферы не происходит и на ее поверхности образуются лишь небольшие изолированные области вулканических пород, пространственно не связанные с рифтами. Если потенциал воздействия более значителен, то формируется неполный ряд развития рифтов: наряду с вулканическим ареалом образуются линейные трещины — рифты, со временем прекращающие свое развитие. Наконец, условием реализации полного эволюционного ряда является исключительно мощное эндогенное воздействие на литосферу, когда на ее поверхности образуются весьма обширные области плато-базальтов, а впоследствии происходит формирование и последовательное продвижение рифтов, крупномасштабное раздвижение континентов и образование океанов.

Каким бы путем ни образовалась обширная мантийная неоднородность под Байкальским рифтом — за счет подъема глубинного вещества, либо в результате столкновения плит — масштаб эндогенного воздействия на литосферу в этой рифтовой зоне относительно невелик. С этой точки зрения маловероятно, что Байкал когда-нибудь станет океаном, хотя он и является вполне типичным примером начальной стадии образования океана. Аналогичная судьба ожидает, по всей вероятности, и Рейнский рифтовый грабен. Что же касается некоторых из Восточно-Африканских рифтов, то они могут превратиться в узкие протяженные трогии с океанической корой типа Красного моря, поскольку обязаны своим возникновением более мощному эндогенному воздействию. Следует подчеркнуть, что несмотря на относительно скромное (в геологическом смысле) будущее Байкала, его изучение играет исключительную роль в познании процессов начального формирования океанических впадин. Байкальское «море» — действительно уникальный объект геологических исследований.

⁵ Монин А. С., Мирлин Е. Г. — Изучение дна Байкала с помощью подводных аппаратов. — Природа, 1978, № 10, с. 58.

16-я конференция Федерации европейских биохимических обществ

С 25 по 30 июня 1984 г. в Москве проходила 16-я конференция Федерации европейских биохимических обществ (ФЕБО). За 20 лет, прошедших со дня основания ФЕБО (1 января 1964 г.), это была самая представительная конференция: в ней приняли участие 1200 советских ученых и 3000 исследователей из 41 страны. Нынешний биохимический форум наглядно продемонстрировал колоссальный прогресс этой науки, прошедшей большой путь с момента ее зарождения в XVIII в. до настоящего времени.

Сегодня биохимия, изучающая химические основы жизни во всех ее проявлениях, стала всеобъемлющей наукой. Уже в середине нашего века на стыке классической биохимии, химии и физики начали бурно развиваться такие научные направления, как биоорганическая химия, молекулярная биология и биофизика. Весь этот комплекс дисциплин мы называем теперь физико-химической биологией. Таким образом, биохимия, объединив вокруг себя близкие ей естественные науки, обрела новые качества и новое название.

Оснащенные современными физико-химическими методами исследования, биохимия достигла сегодня чрезвычайно высокого уровня развития и породила новые научные направления — геновую инженерию и биотехнологию. Их успехи способствуют решению глобальных проблем, связанных со здоровьем человека, продовольствием и охраной окружающей среды. Сейчас мы можем более эффективно использовать последние научные достижения в практике: медицине, сельском хозяйстве, пищевой и микробиологической промышленности.

Современное состояние биохимии нашло наглядное отражение в научной программе конференции. Среди докладов, прозвучавших на 22 симпозиумах, наряду с традиционными темами: «Медицинская биохимия», «Регуляция метаболизма», «Эволюционная биохимия», «Биоэнергетика», «Теоретическая биохимия» и др. — появились и новые, ранее не входившие в круг интересов биохимиков: «Генная инженерия»,

«Биотехнология», «Молекулярные основы иммунологических реакций», «Биоорганическая химия низкомолекулярных биорегуляторов». По существу, 22 симпозиума конференции отразили все стороны биохимии, которая непосредственно соприкасается со многими областями биологической науки: биоорганической химией, молекулярной биологией, биофизикой, цитологией, генетикой.

На всей конференции в целом и каждом симпозиуме в отдельности подчеркнута максимальная технологичность биохимии. Здесь были представлены не только исследования биологических структур, но и работы, посвященные функциональным свойствам систем и процессам, определяемым этими структурами. Теоретическая биохимия обогатилась представлениями о колебательных, или автоволновых, процессах, о ритмическом протекании реакций. В практическом отношении биохимия достигла больших успехов в понимании опухолевого роста, в познании молекулярно-клеточной природы иммунных реакций, в изучении работы генов, а также в генной инженерии и биотехнологии.

Прекрасной иллюстрацией великолепной технической оснащенности современных биохимиков стала выставка «Биохимия-84», проходившая в дни работы конференции. В выставке приняли участие 300 фирм из 22 стран. Широкий показ достижений советского и зарубежного приборостроения, различных реагентов, питательных сред, биопрепаратов и диагностических наборов, а также информационной тематической литературы сопровождался научно-техническими симпозиумами.

Основная масса научных сообщений была представлена на стендовых сессиях, посвященных самым различным вопросам биохимии. Число их было очень впечатляющим — 1910.

Наш корреспондент О. О. Астахова обратилась к президенту конференции Ю. А. Овчинникову с некоторыми вопросами, касающимися проблем, особенно живо обсуждавшихся ее участниками.



Юрий Анатольевич Овчинников, академик, вице-президент Академии наук СССР, директор Института биоорганической химии им. М. М. Шемякина АН СССР. Основная область научных интересов связана с биоорганической химией и физико-химической биологией. Лауреат Ленинской премии (1978) и премии им. А. П. Карпинского Гамбургского общества (ФРГ, 1979). Почетный член ряда иностранных академий и международных научных организаций. В августе 1984 г. Ю. А. Овчинникову исполнилось 50 лет, он награжден орденом Ленина. Редакционная коллегия и редакция «Природы» поздравляют Юрия Анатольевича с юбилеем и высокой государственной наградой, желают ему доброго здоровья и новых успехов в научной и общественной деятельности.

Корреспондент. Какие, с Вашей точки зрения наиболее важные, успехи современной биохимии были отражены на конференции?

Ю. А. Овчинников. Я бы отметил целый ряд важных результатов. Прежде всего, успехи современной энзимологии. Отличительной чертой этого классического направления биохимии можно считать переход от исследований ферментов в пробирке к их непосредственному изучению в клеточных структурах. В последние годы открылись пути одновременного исследования структуры, динамики и электронного состояния пептидов и белков. Появление нового метода, позволяющего заменить единичные аминокислоты в полипептидной цепи, привело к установлению роли каждой аминокислоты в катализе. Сейчас уже можно анализировать механизмы ферментативной активности и на этой основе конструировать новые, не свойственные биологическим объектам типы активности. Этот подход может стать важной основой биотехнологии будущего. Образно говоря, современная биохимия находится на пути создания «фабрик», которые содержат «детали» биологических систем, способных проводить сложнейшие управляемые технологические процессы.

Надо отметить, что существенные успехи в исследовании биополимеров позволяют определить значение макромолекул в процессах, происходящих в биологических системах на различных уровнях их организации. В практическом отношении наибольшие успехи достигнуты в изучении участия биологических молекул и веществ в развитии патологических процессов в

организме, в создании организмов с заданными свойствами для нужд сельского хозяйства, в получении новых видов биологической активности в искусственных системах. Важные результаты получены при изучении патологии иммунной, сосудистой, мышечной и гормональной систем.

Серьезный прорыв ликвидирован в понимании механизмов снабжения биологических систем энергией. Конференция показала, что мы вплотную приблизились к расшифровке молекулярного механизма трансформации различных форм энергии в биологических системах.

Настоящей сенсацией можно считать работы в области изучения строения и организации генома. Твердо установленное свойство непостоянства генома, его подвижности заставило нас по-новому взглянуть на проблемы наследования и выражения генетической информации, дало новое мощное средство для геной инженерии. Именно эта отрасль стала основой для фундаментальных исследований молекулярной и клеточной биологии, послужила толчком к развитию новых направлений — молекулярной онкологии и молекулярной иммунологии.

Корреспондент. Как далеко продвинулась наука в области изучения таких важных для организма веществ, как белки и нуклеиновые кислоты?

Ю. А. Овчинников. Здесь имеются существенные успехи. Если в 1961 г., когда проходил V Международный биохими-

ческий конгресс в Москве, определить последовательность 3—4 нуклеотидов в течение нескольких месяцев было не всегда возможно, то сейчас за несколько дней мы можем расшифровать структуру из 3—4 тыс. нуклеотидов. Сегодня нам под силу установить структуру всего наследственного материала некоторых простейших (но с точки зрения биологии вовсе не самых простых организмов), например достаточно сложных вирусов, геном которых содержит около 100 тыс. нуклеотидов. Расшифровки полных структур таких вирусов уже появляются. Мы идем к тому, что в недалеком будущем будем определять структуры достаточно больших участков генома человека, а это, естественно, приблизит нас к пониманию целого ряда наследственных нарушений в работе генетических систем организма.

Корреспондент. В 1960-х годах началось интенсивное изучение мембран самых различных организмов и возникло самостоятельное научное направление — мембранология. С той поры прошло более 20 лет. Не исчерпана ли эта тематика исследователями, остается ли она по-прежнему актуальной?

Ю. А. Овчинников. Безусловно. Она продолжает быть актуальной проблемой, поскольку это центральный вопрос регуляции процессов, происходящих в живой клетке. Сейчас, правда, несколько сместились акценты. Сначала мы увлекались структурой мембран, моделью их строения. Теперь это ушло на второй план. Процессы, имеющие большое значение для жизнедеятельности клетки, которые можно было изучать на мембране, сейчас настолько ясны, что их исследование тоже смещается на задний план. На первое место выходят проблемы, связанные с работой рецепторов — структур, почти всегда локализованных в мембране. Это одна из самых сложных проблем современной биохимии. Какова структура и функция рецепторов, будь то рецепторы гормонов, будь то рецепторы, представляющие собой проводники целого ряда веществ — ионные каналы? Обычно такие образования имеют огромный молекулярный вес. Изучение этих структур только начинается. Как, не разрушая мембрану, получить представление о топографии

рецептора, о его архитектонике? Для таких огромных систем необходим метод, который давал бы разрешение приблизительно 2—3 А. Здесь может помочь физическая техника. На этой конференции были сделаны интересные сообщения по этой тематике.

Известно, что имеются системы с двумя мембранами — внешней и внутренней. Какие процессы происходят между ними? Это тоже один из центральных аспектов мембранологии. Раньше мы думали, что там все просто, но оказалось, что регуляция в межмембранном пространстве чрезвычайно сложна. Сейчас мы переживаем начальную стадию этих исследований.

Корреспондент. Основной источник энергии, потребляемой сегодня человечеством, — это ископаемая энергия, запасенная растениями в процессе фотосинтеза в течение многих миллионов лет. Расходуем мы ее чрезвычайно быстро и, по имеющимся прогнозам, можем исчерпать эти запасы в ближайшие сто лет. Насколько быстро мы сможем понять механизм фотосинтеза и повысить его продуктивность?

Ю. А. Овчинников. Фотосинтез, бесспорно, одна из центральных проблем изучения живой материи. Перед человечеством не стоял бы целый ряд острых проблем, если бы оно «приручило» фотосинтез. На многие дополнительные сотни лет мы были бы обеспечены пищей, энергией, кислородом, если бы научились управлять этим процессом. Но и здесь многое связано с деятельностью мембран.

Корреспондент. Три симпозиума и одна из трех пленарных лекций были посвящены вопросам иммунологии. Какие достижения в этой области, по-вашему, наиболее значительны?

Ю. А. Овчинников. Молекулярная иммунология сегодня стала важнейшим разделом молекулярной биологии, биохимии и биоорганической химии. Ее основная задача — изучать вопросы укрепления защитных сил организма человека, конечно и животных и растений тоже, но в первую очередь — человека. Решить эту сложную задачу можно только на основе глубокого

знания иммунной системы в целом: как она функционирует, какова роль иммунокомпетентных клеток и молекул, как они взаимодействуют между собой. Можно ли искусственно регулировать силу иммунного ответа, усиливая его или ослабляя? Какие причины приводят к ослаблению иммунитета при различных заболеваниях? Некоторые из этих вопросов уже получают свое решение. Успехи в этой области наиболее заметны. На конференции прозвучали сообщения о создании искусственных вакцин, оказывающих большую поддержку иммунной системе организма в защите от различных инфекций. Широко и успешно используются сейчас в иммунологии гибридомы, продуцирующие моноклональные антитела против многих микроорганизмов, белков, гормонов и т. д. Производство таких диагностических и лечебных антител уже началось. Глубокие исследования ведутся по изучению молекулярных механизмов иммунитета. Все эти направления нашли отражение в докладах и дискуссиях конференции.

Корреспондент. Как Вы оцениваете работу конференции в целом?

Ю. А. Овчинников. Прошедшая конференция охватила все самые главные аспекты и проблемы современной биохимической науки. 16-я конференция стала заметной вехой прежде всего потому, что за последние 15—20 лет это самый крупный форум биохимиков. По-существу, в Москву приехали все ведущие ученые не только Европы, но и мира. Были детально обсуждены положение дел и новейшие успехи в наиболее стремительно развивающихся направлениях физико-химической биологии. Мы убедились в том, что даже те очень смелые и казавшиеся несостоятельными прогнозы, которые делались, например, в отношении возможностей современной молекулярной генетики и ее практического приложения — генной инженерии — опровергнуты, так сказать, в лучшую сторону. В этой области выполнены очень крупные работы. Все большее число лечебных, медицинских агентов, имеющих огромное значение для человека, агентов, которые широко внедряются в сельскохозяйственную практику, сегодня получают методами генной инженерии, причем эти методы сейчас, с точки зрения экономического эффекта, успешно конкурируют

с традиционным производством и в ряде случаев значительно его превосходят. Уже несколько десятков таких препаратов, полученных на основе новейших достижений биотехнологии, выходят на практическую дорогу. Здесь важно подчеркнуть, что многие пока не понятые проблемы, связанные с регуляцией этих процессов, становятся все более ясными. Все же нельзя себе представить, что методами генной инженерии, как волшебной палочкой, можно решить любую проблему. Имеется масса еще нерешенных вопросов, в частности какой организм использовать в качестве вектора, да и многие другие. Судя по работе конференции, на некоторые из них сегодня уже найдены ответы. Нет никаких сомнений, что это направление биотехнологии становится ведущим.

В целом я оцениваю работу конференции очень высоко. Ее научные итоги интересны и впечатляющи. Можно сказать, что конференция знаменует собой новый этап в развитии биохимической науки.

Железный колчедан

В. А. Вахрушев,
доктор геолого-минералогических наук
Гомельский государственный университет

Колчеданами, как известно, называются руды, состоящие преимущественно из сернистых (сульфидных) минералов. Среди колчеданов резко преобладают сульфиды железа — пирит, пирротин и марказит, причем в земной коре наиболее распространен пирит (FeS_2). Он-то и именуется железным, или серным, колчеданом. Аналогичный химический состав имеет марказит, отличающийся от пирита кристаллической структурой.

Как железная руда пирит и марказит используются очень редко, поскольку содержат большое количество серы. Но по той же причине эти минералы служат источником серы для получения серной кислоты и железного купороса (сульфата двухвалентного железа).

Пирит и марказит с полным правом относятся к камням-самоцветам. Их сверкающие кристаллы и сростки служат украшением минералогических музеев и коллекций любителей камня. Эти минералы красивы не только сами по себе, но нередко повышают декоративные свойства других цветных камней. С давних пор особенно ценится ярко-синий минерал лазурит с золотистыми блестками железного колчедана, который еще Плиний Старший сравнивал с небесным сводом, усеянным звездами.

И все же для геологов пирит — это прежде всего спутник многих ценных рудных минералов. Все руды колчедан-



Друза деформированных кристаллов пирита (Забайкалье) и елочко-видная конкреция марказита (Восточная Сибирь). Уменьшено примерно в 1,7 раза.

но-полиметаллических и многие руды редкометалльных месторождений, поставляющих свинец, цинк, золото, серебро и ряд других металлов, сопровождаются пиритом. Вспомним исключительно богатые пиритом и марказитом колчеданные месторождения Урала, где с XVIII в. добывается медь, а вместе с ней свинец, мышьяк, золото и другие металлы. Крупные месторождения колчеданных руд известны во многих районах нашей страны и за рубежом.

Однако, обнаружив пирит где-нибудь в кварцевой жиле или скарновой породе¹, не каждый геолог решится ответить на вопрос: можно ли ожидать

встречи с рудами промышленно ценных металлов? И если да, то с какими именно? Вот тут-то неоценимую помощь могут оказать особенности химического состава пирита. Дело в том, что этот минерал, помимо железа и серы, зачастую содержит редкие и рассеянные элементы. Одни из них входят в кристаллическую решетку пирита, другие обнаружены в виде микроскопических или тонкодисперсных примесей.

В настоящее время уже не вызывает сомнения, что элементы-примеси в пирите являются чуткими индикаторами как условий образования минералов, так и рудоносности пород, окружающих рудные тела. Установлено, например, что пириты железноносных скарнов богаты кобальтом и никелем и бедны другими элементами-примесями. Совсем иная картина наблюдается в пиритах из близких по минеральному составу

¹ Скарны — алюмосиликатные породы, которые состоят преимущественно из гра-

нита и пироксенов и часто сопровождают руды многих металлов.

скарнов, которые сопровождают руды редких металлов. Здесь никель и кобальт отсутствуют вовсе или встречаются в ничтожных количествах, в то время как содержание олова, свинца и серебра повышено.

Особенно велика разница в концентрации рассеянных элементов в пиритах из месторождений разного генезиса. Так, пириты скарновых железорудных месторождений Сибири обогащены никелем (до 0,5 %) и

ним магнетитовым оруденением, характеризуются минимальным содержанием золота². Повышенные концентрации золота и серебра свойственны также мышьяковому колчедану (FeAsS) и ряду других сульфидных минералов, сопровождающих золотые руды в кварцево-жильных и свинцово-цинковых месторождениях. Отсюда следует важный вывод: содержание золота и серебра в железном колчедане является одним из глав-

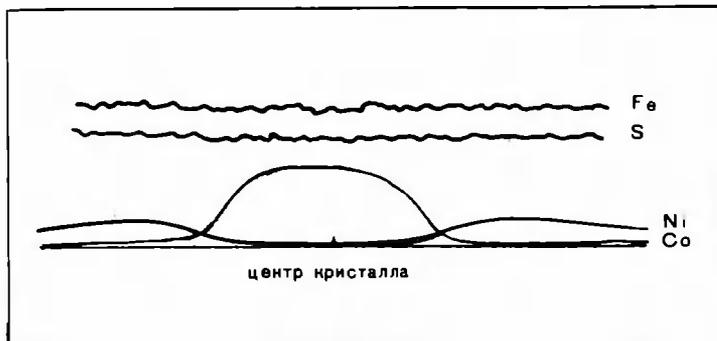
ном, крайние — никелем. Плавный характер кривых распределения железа и серы, а также никеля и кобальта свидетельствует, что никель и кобальт находятся в виде изоморфных примесей в кристаллической решетке минерала-хозяина.

Очевидно, что распределение примесей в пирите отражает изменение физико-химических условий образования минералов, в том числе и химического состава рудоносных гидротермальных растворов.

Известно, что в пиритах из осадочных и вулканогенно-осадочных пород, образовавшихся одновременно с этими породами (т. е. сингенетичными им), никель и кобальт распределены равномерно. В этой связи оказались любопытными данные по распределению элементов-примесей в пиритах из девонских отложений осадочного чехла Белоруссии. В них основная масса пиритов имеет несомненно осадочное (сингенетичное) происхождение и вследствие этого характеризуется одинаково низкой концентрацией никеля и кобальта¹. Вместе с тем в литологически сходных горных породах обнаружены пириты с аномально повышенным содержанием никеля, кобальта и серебра.

Анализ геологической обстановки показывает, что пириты с повышенным и одновременно резко изменчивым содержанием никеля, кобальта и других металлов приурочены к зонам тектонических нарушений, уходящих своими корнями в кристаллический фундамент. Значит пирит и другие сопровождающие его сульфидные минералы можно рассматривать как следы воздействия глубинных флюидов.

Итак, скромный по практическому применению железный колчедан с успехом может быть использован для решения многих геологических проблем — от выяснения условий образования месторождений и перспективной оценки их рудоносности до расшифровки тектонической истории отдельных участков земной коры.



Распределение элементов в одном из кристаллов пирита, по данным микрозондирования. Центральная часть кристаллов обогащена кобальтом (2 % и выше), а крайевые — никелем (до 0,5 %). Плавный характер кривых распределения железа и серы — основных элементов, образующих пирит, свидетельствует, что никель и кобальт входят в кристаллическую решетку минерала-хозяина в виде изоморфных примесей.

кобальтом (до 0,75 %), а в пиритах жильных кварцево-золоторудных месторождений содержание этих элементов-примесей не превышает 0,01—0,02 %.

Геохимикам хорошо известно, что пириты в том или ином количестве содержат примеси благородных металлов — золота и серебра. Однако их концентрация неодинакова и зависит от типа оруденения. Например, пириты скарновых месторождений Сибири с золотым оруденением содержат повышенное количество золота. Пириты же незолотоносных скарнов, в частности пириты из месторождений с промышлен-

ных признаков промышленного золотого оруденения.

Однако геохимикам важно знать не только количество тех или иных микропримесей в пирите, но и особенности их распределения. Замечено, например, что пириты скарновых, кварцево-жильных и других магматогенных гидротермальных месторождений отличаются неравномерным распределением никеля и кобальта не только в пределах месторождения или рудной жилы, но и в отдельном взятом кристалле. Эту закономерность мы проследили, изучая пириты скарново-магнетитовых месторождений Восточной Сибири методом количественного рентгеноспектрального микроанализа³.

Центральные части кристаллов пирита из Куршунского месторождения оказались существенно обогащены кобаль-

² Вахрушев В. А., Цимбалист В. Г. — Геохимия, 1967, № 10, с. 1076.

³ Вахрушев В. А. и др. — Геохимия, 1975, № 3, с. 475.

¹ Вахрушев В. А. и др. — Доклады АН БССР, 1983, т. 27, № 2, с. 158.

Ястреб-тювик

В. П. Белик

Ростов-на-Дону

Описание новых видов птиц, если не считать обитающих в труднодоступных окраинах, в нашей стране закончилось в основном к 1811 г. и завершилось изданием классической «Zoographia Rosso-Asiatica» П.-С. Палласа. Однако некоторые птицы, «скрываясь» под личиной родственных видов, еще долгое время оставались неизвестными.

Так произошло с европейским тювиком (*Accipiter brevipes*) — одним из мелких ястребов, очень похожим на перепелятника. Тювик, обитающий в хорошо изученных тогда районах юга Европейской части России (а также на Балканах,

в Малой Азии и Закавказье), был открыт и описан Н. А. Северцовым лишь в 1850 г. Чтобы установить пребывание тювика в верхнедонских лесах Воронежской губернии, Северцову понадобилось почти 10 лет, а определить видовую принадлежность ястреба он смог, только тщательно сравнив несколько добытых им птиц с встречающимися там же перепелятником.

Внешние отличия этих ястребов едва уловимы, а потому определить их в природе чрезвычайно трудно. Вероятно поэтому за столетний период, прошедший со времени первоописания, близко познакомились с тювиком лишь несколько опытных орнитологов-полевиков. Чаще же обнаруживали его случайно, определяя добытых птиц уже в музеях по возвращении из экспедиций.

В течение почти 20 лет (1960—1970-е годы) сообщений о встречах с европейским тювиком не поступало вовсе, и сложилось мнение о критическом положении его популяции,

даже высказывалось предположение о ее полном исчезновении. Это и послужило поводом для включения тювика в списки 2-го издания «Красной книги СССР».

В 1979 г., начав полевые работы в пойме Нижнего Дона, я предпринял тщательные поиски этой загадочной птицы. Основанием были сообщения С. Г. Варшавского и В. С. Петрова о многочисленных здесь встречах с тювиком в 1930-х и начале 1960-х годов. Долгое время поиски были безрезультатными; хотя в пойменных лесах изредка и попадались мелкие ястреба, но определить их в поле не удавалось. Наконец в середине июля я случайно встретил выводок слетков, а недалеко обнаружил и гнездо тювика с еще не вылетевшими птенцами. На следующей же экскурсии, специально организованной в поисках тювика, удалось отыскать даже 3 выводка, державшихся у гнезд.

Следующие два сезона в пойменных лесах Нижнего Дона я обнаружил еще 9 гнезд и 3 выводка. Позже тювики были найдены и на Среднем Дону (в Иловлинском и Вешенском районах), в низовьях Хопра и других притоков Дона, причем плотность поселений в некоторых местах оказалась очень высокой — на 50 га леса приходилась в среднем одна пара птиц. Численность тювика на Нижнем Дону была ниже, но в разные годы оставалась стабильной — пара гнездящихся птиц на 100 га пойменного леса.

Интересно, что на Нижнем и Среднем Дону, в основной области обитания тювика, почти не гнездится перепелятник, а в более северных районах, где распространен перепелятник, очень редко встречается тювик. Судя по единичным находкам тювика, северная граница его

Пойменный лес в окрестностях станицы Вешенской — характерный биотоп европейского тювика.



ареала проходит через Полтавскую, Тамбовскую, Пензенскую, Казанскую области, на юго-востоке доходит до Уральска и Оренбурга, т. е. совпадает с северной границей лесостепной зоны. Основная же часть ареала — широколиственные пойменные леса степной зоны Европейской части СССР и Предкавказья.

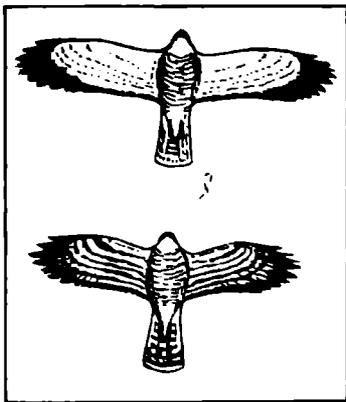
Окраска оперения тювика и других ястребов сходна. Верх его тела темный, брюшко белое, испещренное узкими поперечными пестринами, рыжими у самца и бурыми у самки. Слетки сверху бурые с рыжей каймой перьев, снизу бледно-охристые с бурыми каплевидными пятнами. Глаза у взрослых птиц красно-, у молодых темно-коричневые с желтой восковицей. Клюв черный, лапы желтые.

Тювик гнездится, как правило, в пойменных лесах с обилием опушек, где чередуются поляны, густые куртины старого леса, участки сухого редколесья и мелколесья. Отдельные пары заселяют также небольшие лесные островки в поймах малых рек.

Этот ястреб строит гнезда чаще всего на осокоре (тополе черном), густая мощная крона которого скрывает гнезда и самих птиц. Вообще же гнезда тювика можно встретить на различных древесных породах — дубах, вязах, ясенях и др. — в зависимости от того, какая из них преобладает в местах гнездования.

Гнезда тювика небольшие (диаметр в среднем 27—33 см, высота 14 см), сложены из тонких сухих древесных прутьев. После появления в гнезде птенцов взрослые птицы приносят туда мелкие ветви с листьями, чтобы прикрыть ими пищевые остатки, погадки, помет.

В середине мая тювики откладывают 3—4 голубовато-зеленоватых яйца, которые по мере насиживания теряют окраску и приобретают цвет слоновой кости. Во второй половине июня вылупляются птенцы, а еще через месяц они покидают гнезда. Именно в этот период легче всего обнаружить тювиков даже в густых лесах: активнее становятся взрослые птицы, вынужденные много охотиться, чтобы прокормить себя



Взрослые самцы тювика (вверху) и перепелятника в полете.

и свое потомство; крикливостью выдают себя и слетки — почти весь день они издают громкий призывно-ориентировочный крик «тюви-тюви-тюви-тюви», из-за которого ястреб и получил русское название. Этот сигнал стимулирует охотничью деятельность самца, по этому крику он, прилетев с кормом, быстрее открывает птенцов в густой чаще.

Призывный крик птенцов, по существу, единственный надежный полевой признак, позволяющий легко отличить тювика от перепелятника. Слышен он в тихую погоду на 200—300 м, и по крику слетков можно найти не только самих птиц, но и расположенные поблизости гнезда. Так же, но более звонко, кричит самка (обычно во время строительства гнезда и при птенцах, когда задерживается самец с кормом); очень тихий и глухой голос самца можно услышать лишь у самого гнезда.

Отличается тювик от перепелятника также темными глазами, но по этому признаку можно узнать только близко сидящих птиц (кстати, тювики весьма доверчивы и наблюдать их с близкого расстояния не составляет труда). Другие отличия, видимые вблизи, — почти чисто белый подбой крыльев у парящих самцов, а также продольные темные пестрины на нижней стороне тела и резкая черная

продольная полоска на белом горле слетков. Вот, пожалуй, и все морфологические признаки, по которым хотя и с трудом, но можно определить тювика в поле. Он отличается еще silуэтом и характером полета, однако по ним (даже при определенном навыке) точно определить ястребов очень трудно.

Характерный признак тювика — его короткопалая лапа, за которую он получил латинское название *Accipiter brevipes* — ястреб короткопалый, очень сходная с лапой кобчика (очевидно, это следствие одинаковых адаптаций к схватыванию и удерживанию насекомых). Именно по этому признаку можно четко диагностировать тювика в музеях. Короткопалостью он резко отличается от перепелятника, у которого тонкие и длинные пальцы приспособлены для охоты на птиц.

Летом в добыче тювика преобладают крупные насекомые, в основном стрекозы, которые в июле — августе наводняют леса речных долин; реже в пищу встречаются прямокрылые, жуки, цикады, бабочки и пр.; позвоночных — мышевидных грызунов, слетков птиц, ящериц — по количеству немного, но по массе они составляют, очевидно, не меньшую, если не большую, чем насекомые, часть рациона. Этот перечень напоминает список охотничьих жертв кобчика, хотя кормятся эти птицы в разных биотопах и совершенно различными способами.

Тювик, как все ястребы, охотится преимущественно в лесу, выслеживая добычу из засады. Устроившись на ветви дерева, стоящего на поляне, опушке или среди редколесья, птицы осматривают поверхность земли, травостой, кустарники и в коротких бросках схватывают обнаруженную жертву. Когда насекомые малочисленны, тювики часто меняют засаду, перелетая среди деревьев или над самыми вершинами.

В период выкармливания птенцов охотится почти исключительно самец. Он приносит добычу к гнезду, на соседних деревьях передает ее самке, и та уже кормит молодняк. Лишь подросшие слетки могут принимать пищу непосредственно от самца.



Самка европейского тювика на гнезде.

В августе — сентябре тювики поодиночке улетают на зимовку в Сирию, Аравию, Иран и возвращаются в места гнездования в апреле — мае.

Собранный в последние годы материал по распространению и численности европейского тювика в бассейне Дона позволяет считать эту птицу весьма обычной и даже многочисленной. Плотность гнездования тювика в придонских лесах

в десятки раз превосходит таковую перепелятника в центральных областях Европейской части СССР, где он считается обычным видом. Для тювика характерна достаточно высокая репродуктивная активность, и, судя по нашим наблюдениям, в гнездовой период его мало тревожит присутствие человека, поэтому особых оснований для беспокойства за судьбу тювика пока как будто нет. И все-таки тювик не зря занесен в списки «Красной книги СССР» (категория малоизученных видов): его ареал (лесистые поймы степных рек) невелик и подвержен к тому же интенсивному хозяйственному освоению.

Чтобы сохранить современную численность тювика, видимо, пока достаточно того, что он внесен в «Красную книгу» и тем самым категорически запрещен отстрел, отлов и разорение гнезд. Но уже сейчас необходима пропаганда его охраны среди населения. Очень важно также продолжать работы по изучению экологии тювика, особенно его пищевых связей и взаимоотношений с перепелятником. Все это поможет в дальнейшем разработать конкретные меры охраны, которые при сокращении и так довольно узкого ареала этой птицы у нас в стране совсем не будут лишними.

Природа и человек в искусстве Возрождения

М. Н. Соколов



Михаил Николаевич Соколов, кандидат искусствоведения, старший научный сотрудник Научно-исследовательского института теории и истории изобразительных искусств Академии художеств СССР. Занимается проблемами изображения и символики природы в западно-европейской культуре XV—XVII вв.

Культура Возрождения в становлении и зрелости своей была синтезом самых различных областей научного и художественного мировосприятия. Открытия, предопределившие начальные ступени новоевропейской истории, совершались здесь в рамках единой шкалы ценностей, органически ведущей от философского умозрения к научно-экспериментальной и художественной практике и наоборот. Именно этот синкретизм позволяет нам, обращаясь к XV—XVI вв., исследовать проблемы истории искусства и естествознания в едином комплексе.

Одним из наиболее остроумных и запоминающихся исследовательских приемов, использованных в книге М. М. Бахтина «Творчество Франсуа Рабле и народная культура Средневековья и Ренессанса», является образ гротескного «космического тела», т. е. природы, уподобленной гигантскому человеческому организму. Бахтин прослеживает преобразование ландшафтных и космологических реалий в телесные и наоборот; он показывает, как в рождающемся в результате тождестве макро- и микрокосмоса утверждалась мысль о полном единообразии природы пейзажной (или космической) и природы человеческой¹. Если подобное ощущение окружающего мира действительно было характерно для культуры Возрождения вообще,

то, может быть, и в памятниках изобразительного искусства можно обнаружить подтверждение данного тезиса, тем более что многие искусствоведы обращали внимание на то, что мастера позднего Средневековья и Возрождения испытывали навязчивое стремление к гротескному одухотворению различных природных образований². Рассмотрим несколько примеров из европейской живописи и графики XV—XVI вв.

РОЖДЕНИЕ «ГРОТЕСКНОГО ТЕЛА»

Вполне понятно, что, изучая проблему ландшафтного Микромегаса (великан из философской повести Вольтера), мы вынуждены обращаться в первую очередь к изображениям гор и скал. Чем резче перепады рельефа в пейзаже, тем отчетли-

¹ Бахтин М. М. Творчество Франсуа Рабле и народная культура Средневековья и Ренессанса. М., 1965, с. 26, 344, 345.

² Об этом см.: Baltrušaitis I. Le Moyen Age fantastique. P., 1955; Evers G.— Das Münster, 1973, Jg. 26, S. 257; Ladenborf H. Zur Frage der künstlerische Phantasie.— In: Museion. Festschrift für H. O. Förster. Köln, 1960, S. 21; Marlier G.— Connaissance des Arts, 1962, № 124, p. 84; Tolnay Ch. de. Pierre Bruegel l'Ancien. Bruxelles, 1935; Margolin I.— Cl.— Bibliothèque d'humanisme et Renaissance, 1977, t. XXXIX, p. 503.



Рис. 1. А. Мантенья. «Мадонна пещеры». Между 1488 и 1490 г. Галерея Уффици. Флоренция. Базальтовые скалы на среднем плане принимают вид фантастической головы с торчащими пучками волос.

вее может быть воспринята телесность земной поверхности.

Изображениями гор, как известно, изобилуют средневековые иконы. Эти вздыбленные ступенчатые горы-«лещадки», построенные по принципам обратной перспективы, абсолютно чужды всякому самостоятельному движению. Обеспечивая изоляцию «горного мира» религиозной сцены от посторонней среды, они никоим образом не подражают абрису человеческих фигур, не внедряются в структуру сюжета, но сохраняют свою кристаллическую отрешенность, непричастную к хаосу земной природы.

Подобия «лещадок» долгое время сохранялись и в итальянской живописи, причем даже в XV в., когда в пейзажной среде уже получили перевес панорамические (пространственно развитые вглубь) концепции. Английский искусствовед К. Кларк считал такого рода геологические гротески остатками средневекового «пейзажа-символа», враждебного нарождающемуся ренессансному чувству приро-

ды³. Однако детали эти по сути обретали характер, противоречащий концепциям Средневековья. Такого рода скалы, т. е., по существу дела, гигантские камни, являлись художественными разработками простейших, доступнейших пейзажных моделей (хорошо известно, что еще итальянский живописец XIV в. Ченниньо Ченнини рекомендовал в своем трактате изображать горы и скалы, наблюдая отдельные камни⁴). К тому же, изучение минералов способствовало развитию индивидуальной творческой фантазии. Мертвая поверхность камня могла послужить стимулом для воображаемого конструирования целых художественных микроструктур. Это хорошо понимал Леонардо да Винчи, поведавший — хотя и с оттенком иронии — о дивных пейзажах и сценах битв, которые можно увидеть на старой, изъеденной временем стене⁵.

Какой же смысл обретала поэзия камня у мастеров раннего Возрождения? Для ответа на этот вопрос взглянем на «Мадонну с младенцем» работы Андреа Мантеньи, иногда называемую «Мадонна пещеры» (рис. 1). Внимание зрителя здесь властно приковывает к себе огромная полужантаслическая скала, имеющая все же несомненный натурный прототип. Вулканические базальтовые глыбы, которые художник мог видеть на пути между Вероной и Виченцей, весьма часто принимают вид подобных столбчатых конгломератов. Важное значение имеют в композиции и программно-символические нюансы, ибо с их помощью инертная масса базальта включается в мощный, охватывающий всю пейзажную среду процесс обновления, духовного преобразования мира (если именно так понимать оппозицию каменного бесплодия, окружающего каменоломню справа, и раскинувшейся слева сельской местности со стадами и плодоносящими полями).

В средневековых рассуждениях о природе минералов параллельно развивались две взаимопереплетающиеся тенденции⁶. Одна из них привлекала внимание к мертвящей пассивности каменного царства, вы-

³ Clark K. Landscape into art. L., 1975, p. 15.

⁴ Ченниньо Ченнини. Книга об искусстве. — В сб.: Мастера искусств об искусстве. М., 1965, т. 1, с. 256.

⁵ Леонардо да Винчи. Трактат о живописи. М., 1934, с. 151.

⁶ Thorndike L. A history of magic and experimental science. L., 1923—1930, v. 2—4; idem. A source book in medieval science (ch. «Geology»). Cambridge, 1974.

двигая понятие о так называемой минерализующей силе, сковывающей подвижность растительной или животной жизни (именно таким образом должны были возникать окаменелости). Другая тенденция выдвигала идею «пластической мощи», формирующей «рост» окаменелостей и рудных жил не как тупиковое ответвление природного процесса, но как результат «природной игры», свидетельствующей о богатых творческих возможностях материи. Их формирование в средневековом сознании (особенно в концепциях алхимиков) осмыслилось по аналогии с ростом растений. Тем самым «тварная» природа — даже в своей наименее одушевленной, т. е. геологической ипостаси — наделялась способностью к самостоятельному созданию новых форм, а акт «божественного творения» постепенно превращался в подобие поэтапно разворачивающегося естественного процесса.

Угадывая в окружающем ландшафте черты причудливого сходства с целостным организмом, ренессансные мастера вносили свой вклад в обсуждение проблемы соотношения и «тварного» мира, или «природы природствующей», и «природы оприроденной» (согласно шутливому русскому переводу известных терминов Спинозы у поэта М. Кузмина). Природная «формирующая сила» особенно часто актуализировалась в человеческих профилях, возникавших в очертаниях утесов, — часто в сочетании с верхним почвенным слоем и растениями на нем, исполняющими роль густой шапки волос. Интерес к такому роду «спонтанной мифологии» хорошо известен не только этнографам, занимавшимся историей обожествления камней⁷, но и любому туристу, побывавшему в местности типа Красноярских столбов или крымского Карадага. Охотнее всего изображались самые живописные породы, наиболее подверженные температурным, эрозионным и прочим деформациям. Мантенья предпочитал итальянские базальты, Дюрер — альпийские доломиты, нидерландцы Дирк Боутс и Патинир (а также пейзажисты его круга) — меловые скалы долины Маас, по самим условиям своего органического происхождения идеально приспособленные для антропо- и зооморфных пейзажных интерпретаций.

Современные авторы, писавшие об оживающих скалах в позднесредневековом и ренессансном пейзаже, порою видели в них в первую очередь навязчивые inferнальные мотивы. В свете этого не покажется удивительным, что в диком нагромождении скал, окружающих грешников в алтарной створке живописца раннего нидерландского Возрождения Дирка Боутса, изображающей низвержение грешников, можно заметить по меньшей мере три отчетливо прорастающих профиля (рис. 2).

Топография загробного царства постоянно предоставляла богатейшие возможности для пейзажного гротеска — вспомним хотя бы мотив «адовой пасти», типичный в Средние века и для мистериального театра, и для изобразительного искусства. Позднесредневековые «адские» ландшафты, утрачивая характер условных фрагментов космологической схемы, во все большей степени превращались в прямые подобия ландшафтов земных, и их геологическая текстура становилась все более детализированной.

Изображаемая в «адских» сценах косная материя камня или бесплодная земля занимала, естественно, низшее положение в умозрительной природной иерархии, обладая лишь потенциями к тупому, бессознательному росту, но не к росту и жизни (подобно растениям) или к росту, жизни и чувственному восприятию (подобно животным). Горные и пустынные ландшафты ада, эти своеобразные средоточия «выкидышей творения», обозначили собою крайние пределы «тварного» мира, максимально удаленные от путей «божественного промысла». Однако же появление в inferнальной среде даже не собственно гротескных тел, а смутных, слитых с пейзажем признаков иных царств природы могло

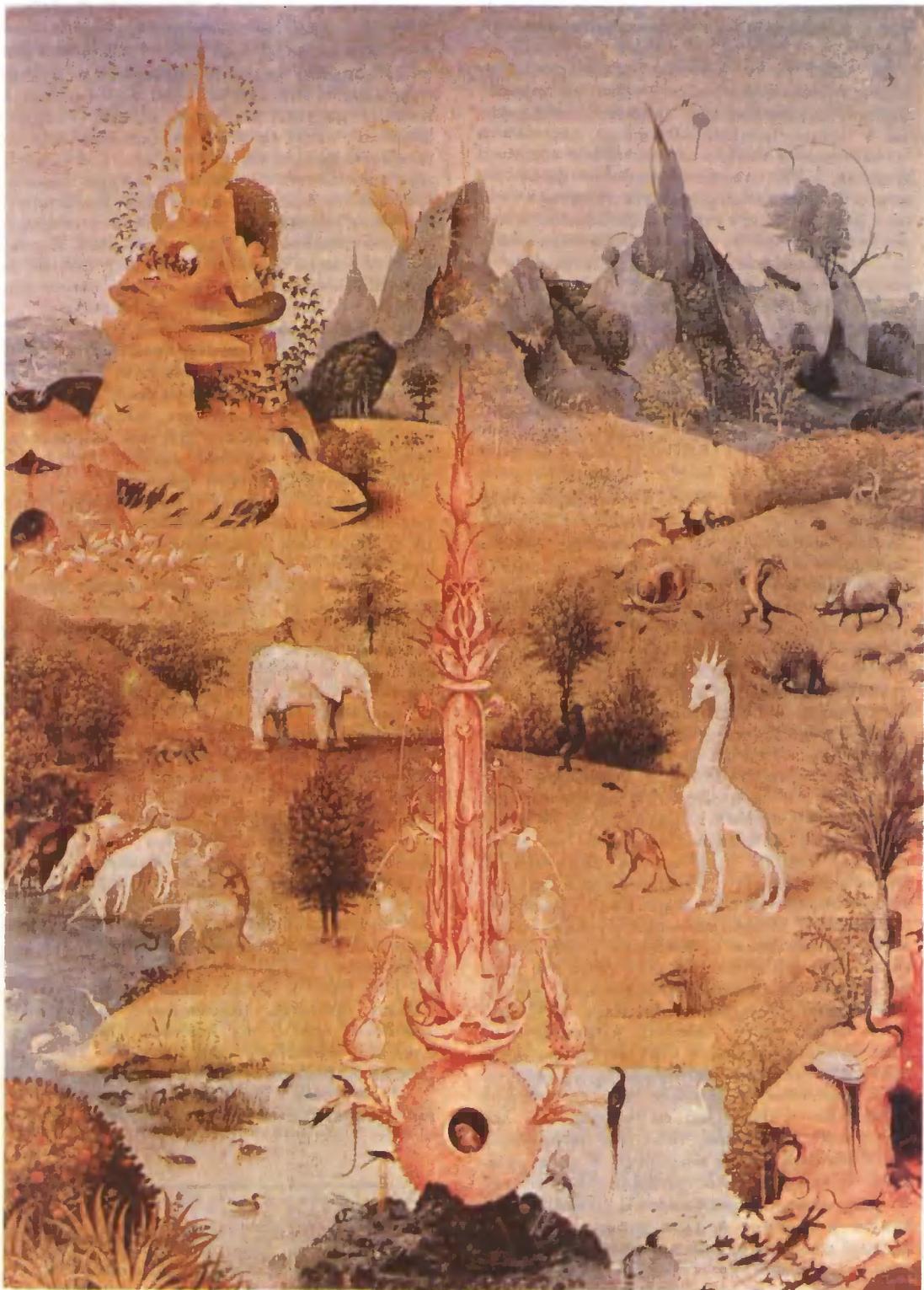
На с. 60 и 61:

Рис. 2. Д. Боутс. «Низвержение грешников в ад» (фрагмент створки диптиха). 3-я четверть XV в. Дворец изящных искусств. Лилль. Три профиля яственно прорастают в абрисах трех дальних скал. Слева — поднятое вверх лицо с бородой, в центре справа — опущенное лицо в шапке, справа — профиль животного.

Рис. 3. И. Босх. Фантастический «Фонтан жизни» в раю. Фрагмент триптиха «Сад земных наслаждений». Начало XVI в. Прага. Мадрид. «Природно-рукотворные» конгломераты стеклянных трубок, реторт, клешнеобразных отростков, ветвей и т. д. символизируют волшебное единение всех царств природы: минералов, растений, животных, человеческого ремесла.

⁷ См., напр., статью об австралийском скальном массиве Айерс-рок — скоплении «мифологических окаменелостей», оживающих в воображении абorigineгов — участников ритуала: Hargrey W. E.— Oceania, 1960, v. 31, p. 63.





свидетельствовать о «тяжкой муке матери», осознающей свое греховное несовершенство.

Отсюда это обилие неожиданных — причем постоянно обратимых — превращений, охватывающих «адские» ландшафты у Данте (антропоморфные деревья и окаменевшие великаны, маячащие подобно башням в XIII песне «Ада») или французского позднесредневекового писателя Гийома Дюгельвиля, у старонидерландских живописцев Дирка Боутса или Иеронима Босха. Человеческое тело, рассыпающееся в мареве окказиональных (т. е. как бы «двойных», совмещающих два мотива) образов, проступало сквозь эпизоды адских мучений, поскольку оно было залогом конечного искупления всякой, даже наименее одушевленной «тварной вещи».

ТРИУМФ РЕНЕССАНСНОГО ПАНТЕИЗМА

Если у Дирка Боутса мы видим лишь начальный этап этого пробуждения «страждущей природы», то в различных частях знаменитого «Сада земных наслаждений» Иеронима Босха (рис. 3) образы волшебных метаморфоз, переливающиеся яркими, радужными оттенками, призваны уже свидетельствовать о близком наступлении идеального царства природной гармонии, фатально нарушенной в правой створке с ее хаотическими образами ада. Несмотря на обилие человеческих фигурок, главным героем произведения является Природа как таковая. Представление о всеобщей одушевленности ландшафтного тела воплощается Босхом почти без каких бы то ни было навязчивых антропоморфизмов — речь, скорее, идет о свободном перетекании различных царств природы одно в другое. Многочисленные обитатели Сада, подобные «побегам с шевелящимися руками-усиками», органически сочетаются с образами гигантских фруктов и ягод, а сами эти плоды наделяются признаками высшей, животной жизни (арбузы, например, покрываются сетью вен); наконец, в фантастических дальних скалах в игру природы вступают и минералы, которые то уподобляются раковине моллюска или гигантским лепесткам и бутонам, то прорастают золотистым деревцом (как бы реализующим алхимическую метафору о вегетативном «развитии» месторождений золота), то покрываются прожилками, буквально на глазах у зрителя превращающими естественный рисунок камня в сплетение голубоватых сосудов.

Эти изысканные творения гертоген-босского мастера включают в себя немало мотивов, относящихся уже не столько к нерукотворной природе, сколько к обстановке алхимической лаборатории (имеются в виду различного рода колбы, сосуды, воронки, искусно замаскированные под те или иные детали волшебных скал). И именно для алхимических образов, щедро принимаемых как Босхом, так и Рабле, было чрезвычайно характерно постоянное отождествление различных сфер природной жизни, в том числе реалий флоры, фауны и царства минералов. Как писал испанский медик и алхимик XIII в. Арнольд из Виллановы, «благословенный (т. е. философский.— М. С.) камень называют смесью трех веществ — минерального, животного и растительного... минерального, поскольку он состоит из минералов, растительного, поскольку он живет и растет, животного, поскольку он наделен телом, душою и духом подобно живой твари»⁸.

Однако тенденции к окончательному размыванию гносеологических границ между различными природными царствами — тенденции, которые приводили к тому, что всякое движение человеческой души в ее стремлении к высшему этическому совершенству могло быть философски осмыслено как часть единого процесса, охватывающего всю природу — могли получить перевес лишь в условиях коренного переосмысления вопроса о месте человека в системе мироздания.

Средневековая концепция творения постулировала изначальную неравнозначность человека и природы. Лишь человек был наделен верховным правом представлять собою «образ божий». Ренессансная философия, постоянно тяготевшая к пантеистической интерпретации библейско-евангельской антропологии, внесла в этот догмат существенные коррективы. Так, у Парацельса подчеркивается, что лишь дух человеческого был удостоен богоподобия, тогда как тело и душа были сотворены по образу природы (библейское выражение «земной прах», по мнению Парацельса, следует понимать как «некий экстракт тверди небесной и всех стихий»)⁹.

Поэтому у Парацельса медик, желающий познать естество человеческое, обязан

⁸ Lennep J. van. Art et alchimie. P.— Bruxelles, 1966, p. 98.

⁹ Paracelsus. Philosophia Sagax.— In: Koyré A. Mystiques, spirituels, alchimistes du 16 s. allemands. P., 1955, p. 53.

обращаться ко всей эмпирической вселенной или «изучать анатомию внешнего человека». И поскольку сведения о человеческом микрокосме вписаны в каждую строку Книги природы, любая примета ландшафта при ее практическом познании должна быть соотнесена с тем или иным органом тела. Эта установка Парацельса находит особенно яркое выражение в концепции так называемой ландшафтной хиромантии. Известно, что в практике гадания по линиям ладони использовались такие «пейзажные» метафоры, как, например, «венерин холм». Развивая этот принцип, Парацельс пишет: «Хиромантия многообразна и не относится к одним лишь человеческим рукам... Есть хиромантия трав, кустарников и деревьев, хиромантия ландшафтов, где линиями служат дороги и реки»¹⁰.

Мы остановились на алхимии и теориях Парацельса потому, что эти две мировоззренческие системы непосредственнее всего были связаны с образной системой ренессансного пейзажа.

Не менее восторженные описания микрокосмической структуры человеческого тела и телесно-антропоморфной сущности мироздания можно найти и у итальянских неоплатоников. К микрокосмическим теориям Пико делла Мирандола, Марсилио Фичино, алхимиков и Парацельса с равным правом можно отнести слова Бахтина, относящиеся к творчеству Рабле: «Та материя, из которой состоит вся вселенная, в человеческом теле раскрывает свою подлинную природу и все свои высшие возможности: в человеческом теле материя становится творческой, призванной победить весь космос; организовать всю космическую материю, в человеке материя приобретает исторический характер»¹¹.

Идеальный человек у Парацельса и Рабле — это человек, объемлющий телом своим весь мир, как ландшафтный, так и космический (у Рабле примером этического совершенства является, собственно, самый большой и самый высокий персонаж — великан Гаргантюа; вспомнив 32 главу 2-ой книги, где автор, угонив в его пасть, оказывается в некоей обширной стране со своими лесами, дорогами и городами). Конечно, нельзя утверждать, что все пейзажные антропоморфизмы пред-

ставляют собой программные воплощения идеи о подобном «человеке вселенной». Речь здесь идет не о символической программе, но скорее об определенной тенденции в становлении образа, перекликающейся с натурфилософскими воззрениями эпохи.

Кульминационным пунктом в истории «освоения космических стихий в стихиях тела» стали те образы, где природа не только одушевлялась и в той или иной степени антропоморфизировалась, но и надеялась чертами верховного божества.

Ренессансный пантеизм, как известно, возрождал концепции стоиков, тяготея к прямому обожествлению Природы. Речь здесь шла не о примитивном анимизме, расценивавшем ландшафтные приметы как некие разрозненные части божеств — на первый план у мыслителей Возрождения выступала идея вселенской целостности природы как некоего гигантского существа, отдельные члены которого общались друг с другом по принципу «симпатических эманаций», пронизывающих живое тело. Обычно, упоминая о подобной концепции Земли у Николая Кузанского, Леонардо да Винчи и других, употребляют выражение «мировое животное», тогда как целесообразнее было бы говорить именно об уникальном «мировом существе», находящемся вне традиционных царств природы. Конечно, этот планетарный организм, где земная кора дышит, подобно коже, где подземные воды, а также приливы и отливы пульсируют, подобно потокам крови, и даже землетрясения и различные бури уподобляются чисто телесным недугам, никоим образом не приравнивался у философов XV—XVI вв. к верховному божеству (как это в известной мере могло иметь место у Платона, назвавшего в концовке своего «Тимея» подобное вселенское тело «чувственно воспринимаемым богом»). Однако божество существовало в этом органически понимаемом мире, согласно меткому замечанию французского историка науки А. Куаре, «не как творец в своем произведении, но как душа в теле»¹². Собственно, вся теология Ренессанса была основана на своеобразном парадоксе, ибо бог здесь, абсолютно недоступный чувственному восприятию и рационализированному схоластическому познанию, был в то же время абсолютно неотделим от всех без исключений реалий чувственного мира.

¹⁰ Цит. по: Hertlaub G. F. «Paracelsisches» in der Kunst der Paracelsuszeit.— Nova acta paracelsica, 1954, Bd. 7, S. 145.

Бахтин М. М. Указ. соч., с. 398.

¹² Коурé А. Op. cit., p. 40.

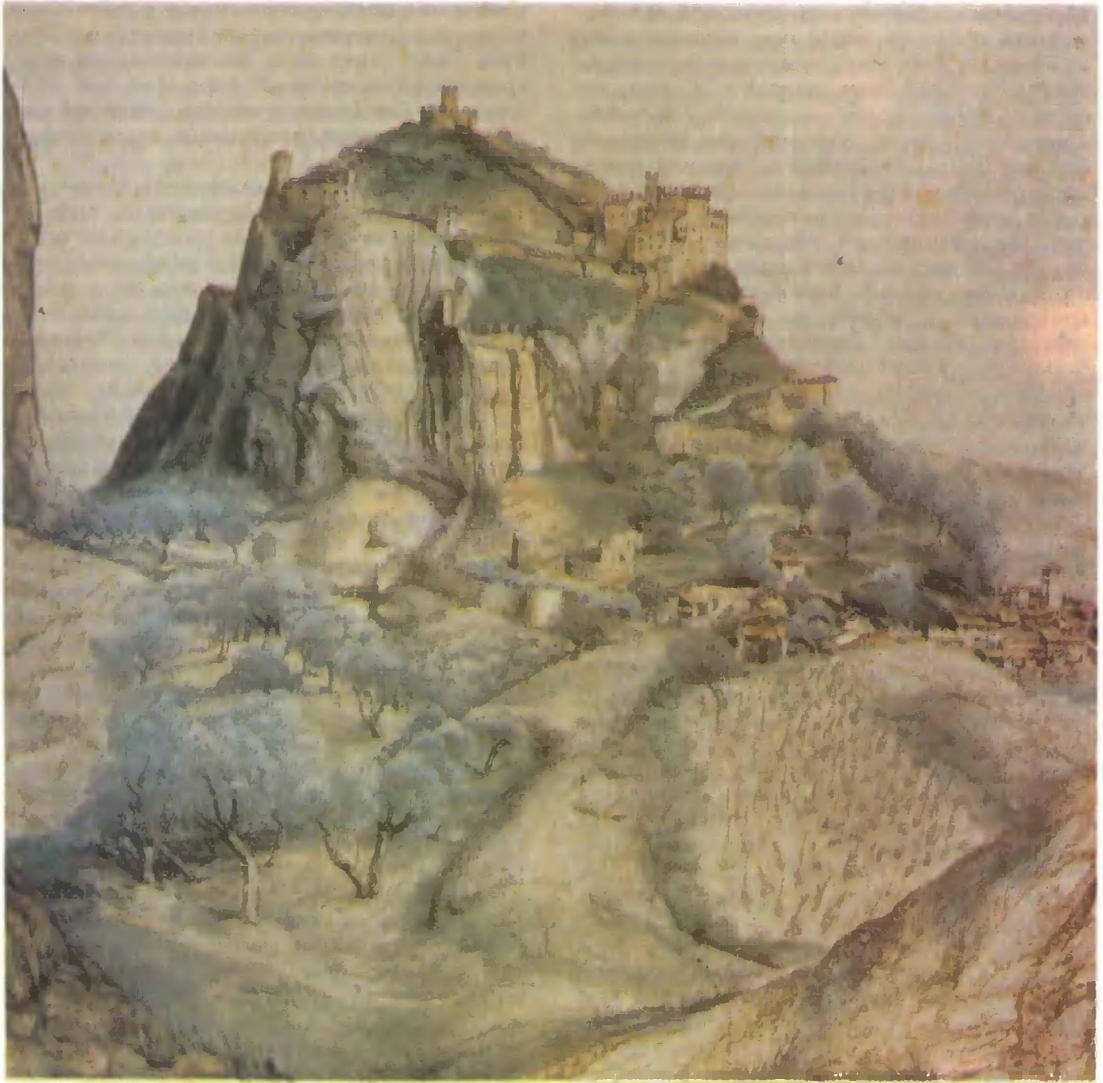


Рис. 4. А. Дюрер. «Вид Арко». Акварель. Ок. 1494—1495 г. Лувр. Париж. Гигантский человеческий [светлый с поворотом влево] профиль виднеется в левой части центральной горы.

Внутренняя противоречивость подобного «скрытого пантеизма», одновременно и проповедующего непознаваемость божества, и наделяющего «тварный мир» способностью к самостоятельному «божественно целесообразному» органическому развитию, была присуща и многим пейзажным изображениям XV—XVI вв.

Восприятие ландшафта как одухотворенного гиганта было в высшей степени характерно и для пейзажного творчества

Альбрехта Дюрера, причем не столько для фоновых композиций его больших произведений, сколько для самостоятельных пейзажных акварелей. Прославленная акварель с видом итальянского городка Арко была исполнена во время альпийского путешествия великого нюрнбержца (рис. 4).

Эту величественную горную панораму венчает антропоморфный образ: левая часть скального массива художественно переосмыслена так, чтобы даже зритель, не обладающий богатым воображением, мог различить в ней черты гигантского человеческого профиля¹³.

¹³ Ladendorff H. Op. cit.

Если у Дюрера «двойной образ» не навязчиво вживляется в художественную структуру и не нарушает устоявшихся закономерностей ландшафтной среды, то в рисунке швейцарского живописца, графика и драматурга Никласа Мануэля Дейча эти тенденции к органическому пониманию пейзажа находят почти карикатурное выражение (рис. 5). Избрав для своей композиции мотив контрастного сочетания всклокоченного, как бы разевающего каменную пасть прибрежного утеса и безмятежной глади горного озера, мастер явно поддразнивает зрителя, гротескно усложняя формы, заданные природой, но не придавая этим ассоциациям с живым существом наглядной завершенности.

Наконец, с середины XVI в., т. е. в эпоху острого кризиса ренессансной культуры, некоторое распространение получили пейзажи, где очертания различных природных образований уподоблялись деталям человеческого лица с предельно дотошной

наглядностью (типичное произведение такого рода представлено на рис. 6). Однако и эти причудливые фантазмагии генетически восходят к микрокосмическим концепциям зрелого Возрождения. Так, на одной композиции (фантастический пейзаж «Круга Арчимбольдо», собрание Р. Минерби в Венеции), где глазные и ушные отверстия ландшафтного колосса также отождествлялись с впадинами рельефа, волосы — с кустарниками и деревьями и т. д., над челом его выведена надпись: «Homo omnis creatura» («человек создан из всего тварного мира»).

Что касается стилистического воплощения, то в целом эти курьезные картинки кабинетного формата можно сравнить с ребусами, которые не надо даже разгадывать, ибо готовый ответ услужливо прилагается художниками. Собственно, здесь эксплуатируется прием, типичный для загадок, приравнивающих детали ландшафта (в вопросе) к деталям человеческого лица (в ответе). Например, венгерская загадка «На вершине снег, в ложбинах вода, розы увяли, 32 брата разбрелись по белу свету» предполагает ответ: «Лицо старика». Если в композициях, рассмотренных нами ранее, метафорические «двойные образ-

Рис. 5. Н. Мануэль Дейч. «Пейзаж». Рисунок пером. 1-я четверть XVI в. Графическое собрание. Базель. Уступы прибрежных скал (справа) трактованы в виде исполинской пасти, разинутой на озеро.





Рис. 6. М. Мернан (I). Фантастический пейзаж. 1-я половина XVII в. Частное собрание, Нью-Йорк. Правая прибрежная скала — шляпа, верхняя башня замка — нос, купа деревьев на холме слева — бороде с подбородком. Мыс в виде головы человека, лежащего на спине.

цы», предполагающие гротескность пейзажных концепций, естественно сочетались с обилием тонких наблюдений над жизнью природы, и в результате «гротескное тело» земли буквально дышало всеми своими порами, то здесь пафос эмпирического познания сменился сухой расчетливостью поставщика сценических эффектов. Так, ландшафтный Микромегас, извлеченный из естественной среды своего обитания, как бы превратился в экспонат кунсткамеры маньеристов.

И все же, при всей своей чисто художественной второстепенности, эти позднеренессансные пейзажи-курьезы заключают в себе немалую ценность для историка науки и философии, ибо в них триумф гуманистического пантеизма Возрождения воплотился с дотошной, программной наглядностью.

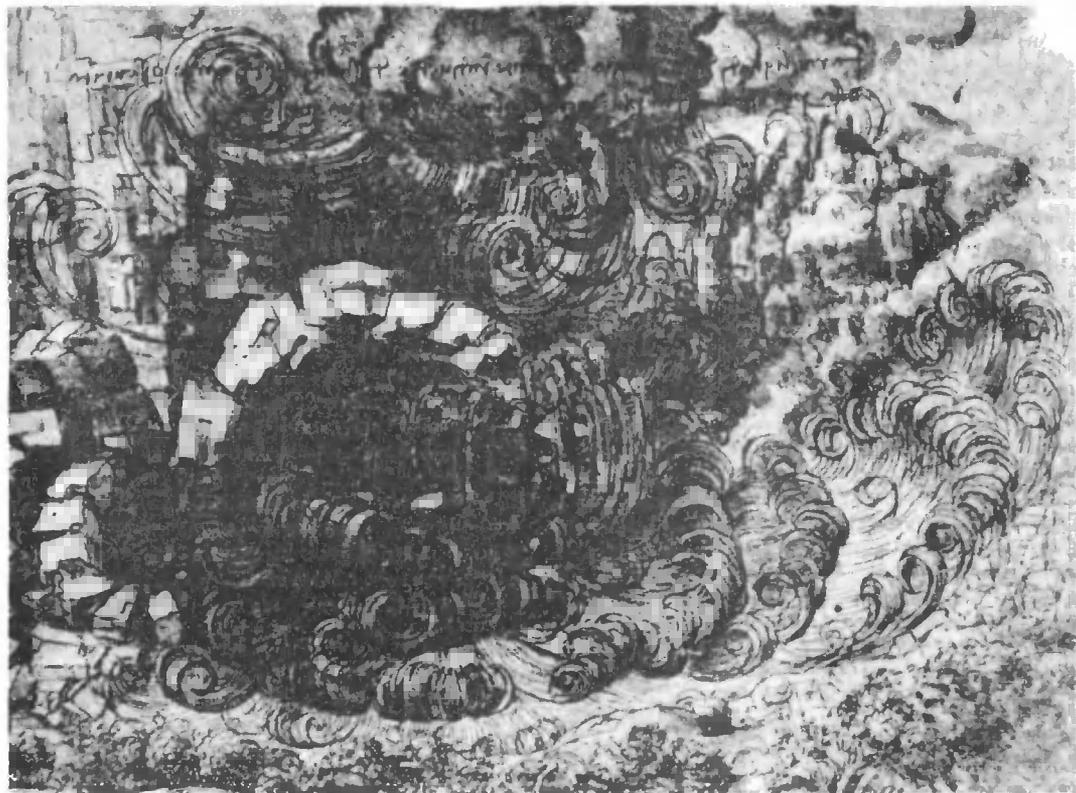
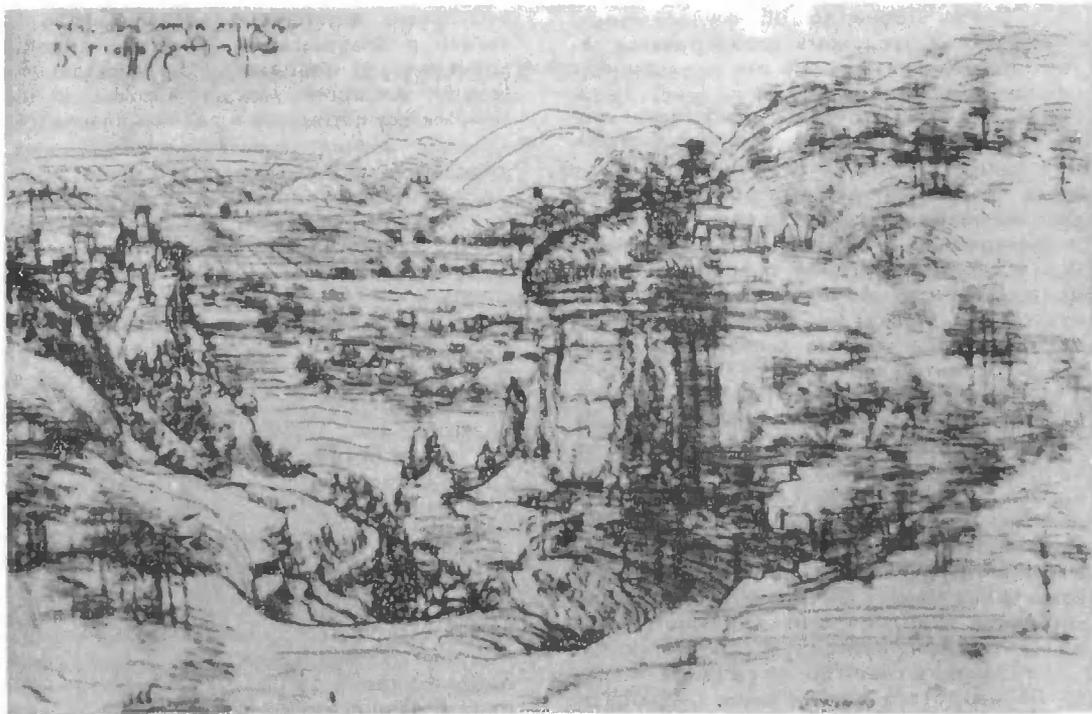
ЛЕОНАРДО ДА ВИНЧИ НА РУБЕЖЕ ДВУХ ЭПОХ

Леонардо, положивший в основу своих естественнонаучных штудий метод аналогии, весьма охотно пользовался различными микрокосмическими метафорами. В целом он был далек от алхимического миропонимания, но вполне возможно, что в его заметках о Земле как живом существе, обладающем «растительной душой», нашли отражение и элементы алхимических воззрений (явственно проступающих, например, в том случае, когда Леонардо говорит о частицах золота, «порожденных солнцем и развивающихся в земных недрах наподобие растений»)¹⁴.

¹⁴ Цит. по: Thorndike L. A history of magic..., v. 5, p. 33.

Рис. 7. Леонардо да Винчи. Пейзаж. Рисунок пером. 1493 г. Галерея Уффици. Флоренция.

Рис. 8. Леонардо да Винчи. Рисунок из цикла «Потоп». Перо, итальянский карандаш. Ок. 1514—1516 г. Королевская библиотека. Виндзор.



Слова Леонардо об одушевленной Земле могут послужить своеобразным авторским комментарием к его знаменитому пейзажному рисунку 1473 г. (рис. 7) — первому в его творчестве самостоятельному графическому изображению естественной среды. «Плоть ее (Земли).— М. С.) — суша, кости — ряды сгромоzdившихся скал, из которых слагаются горы; связки — туфы; кровь ее — водные жилы; заключенное в сердце кровавое озеро — Океан; дыхание, приток и отток крови при биении пульса есть то же, что у Земли прилив и отлив моря, а теплота мировой души — огонь, разлитый в Земле»¹⁵.

Особенно явственно новое пейзажное видение преобладает в правой половине композиции. Штрихи, бегло намечающие кроны, перекликаются с линиями холмов и складок земли, порою полностью с ними сливаясь, скалы, выступающие из-под почвенной шапки, отражаются в воде, и чрезвычайно трудно провести тут четкие разграничения между минералогической, растительной и водной стихиями, составляющими единый пульсирующий организм.

Однако в своей более поздней графике Леонардо все решительнее отходит от телесного понимания ландшафта. По мнению швейцарского искусствоведа Й. Гантнера, в натурфилософских рассуждениях мастера этому соответствует постепенный отказ от микрокосмического толкования гидрогеологических процессов¹⁶.

Знаменитая серия рисунков с изображением потолка позволяет детально уяснить основные закономерности этой эволюции. Циклу «Потоп» предшествуют графические изображения растрескивающихся скал, где сцены метаморфизма земной коры уже несут в себе ни малейших телесно-органических ассоциаций. В ранних листах этой серии присутствуют многочисленные фигурки мятущихся людей и животных, непосредственно связывающие эти изображения с контекстом библейского повествования (рис. 8). В более поздних листах какие-либо, даже мельчайшие, человеческие или анималистические формы отсутствуют, и все пространство рисунка заполняется яростно сражающимися стихиями: взвихренными облаками, чудовищными водоворотами, скалами, то рассыпающимися под натиском вод, то взрывающимися в

результате внутренних катаклизмов. Наконец, в композициях, которые принято помещать в конце цикла, исчезает не только различие между верхом и низом, между передним и задним планами — исчезает всякая качественно-пластическая дифференциация различных стихий: трехмерная протяженность геологических, водных и метеорологических форм претворяется в сгустки спиралевидно распространяющихся в безбрежном пространстве энергий.

И это особенно примечательно: по мере того как самоценное бытие этой бушующей природы искореняет из сознания зрителя всякую мысль о надмирном божестве, хаос враждующих первоэлементов во все большей степени превращается в космос целесообразно взаимодействующих силовых линий, в некое волшебное предвосхищение математизированного и механистического мироздания XVII в. (например, космогонических вихрей, заполняющих Вселенную в физике Декарта). Так в творчестве мастера, соединившего в своем духовном развитии Античность и Средневековье с Новым и Новейшим временем, ландшафтное тело, структурно связанное с человеческим микрокосмом, распалось, уступив место образу Вселенной, образу, лежащему как вне сферы антропо- и зооморфных философских интуиций, так и вне сферы конкретного чувственного восприятия вообще.

Органическая телесность ландшафтной природы в эпоху Возрождения могла принимать антропоморфный или неантропоморфный облик — все равно идейные особенности ренессансного пейзажа были связаны не только с новой натурфилософией, но и с коренным переосмыслением взглядов на природу человеческую, с концепцией человека, сотворенного уже не по «образу божьему», но по образу обожествленной природы.

Начиная же с XVII в. микрокосмические метафоры в подавляющем большинстве случаев прилегают уже не столько к природе, сколько к человеческому обществу (вспомним хотя бы гоббсовского Левиафана), и параллельно этому в структурах пейзажей утрачивается ощущение одухотворенной телесности. Постепенно величественный призрачный вселенского исполина, вместившего в своем теле весь окружающий мир, исчезает, теряясь в лучезарных или романтически-мрачных даях пейзажного пространства.

¹⁵ «Кодекс Хаммера». — В кн.: Зубов В. П. Леонардо да Винчи. М. — Л., 1961, с. 154.

¹⁶ Gantner J. Leonardos Visionen von der Sintflut und vom Untergang der Welt. Bern, 1958, S. 156.

Микроклимат пчелиного гнезда

Е. К. Еськов



Евгений Константинович Еськов, доктор биологических наук, заведующий кафедрой зоологии Рязанского государственного педагогического института. Изучает эволюционные аспекты поведения насекомых. Автор монографий: Акустическая сигнализация общественных насекомых. М., 1979; Поведение медоносных пчел. М., 1981; Микроклимат пчелиного жилища. М., 1983. Неоднократно публиковался в «Природе».

С глубокой древности человек использовал мед, вырабатываемый пчелами из цветочного нектара. Первобытный человек для добывания меда разорял пчелиные гнезда, а около 5 тыс. лет назад (судя по возрасту изображений, найденных при раскопках гробниц и в храмах народов Среднего Востока) начал заниматься пчеловодством — разведением пчел для получения от них меда и воска.

Еще в древнее время изучением жизни медоносных пчел (*Apis mellifera*) и их поведения интересовались ученые и пчеловоды, а первые сообщения о биологии пчел появились в трактатах Аристотеля (IV в. до н.э.). Однако многие очень важные сведения о жизни пчелиной семьи, отношениях и взаимосвязях ее членов до последнего времени были самыми противоречивыми. Более того, до изобретения Р. Реомюром спиртового термометра в 1730 г. не был известен температурный режим пчелиного гнезда. Первые сведения такого рода были получены в том же XVIII в. Ф. Губером — известным исследователем жизни пчел. Измерив температуру в центральной части пчелиного гнезда, Губер обнаружил, что зимой пчелы поддерживают там температуру около 27 °R (33,75 °C). И это было удивительно тем, что пчелы не снабжены какими-либо специальными приспособлениями для

защиты от неблагоприятных условий, их нормальное развитие проходит в довольно узком температурном интервале. Даже взрослая пчела вне своего гнезда очень чувствительна к изменениям температуры: при 9—12 °C она уже, как правило, не летает, а при 0° быстро впадает в холодное оцепенение. В оцепеневшем состоянии пчела может находиться не более 12—17 ч, а затем погибает.

От незначительных колебаний температуры зависит продолжительность развития пчел и выживаемость эмбрионов: эмбриональная стадия проходит за 70 ч при 38 °C и только за 115 ч при 30° (снижение температуры инкубации на 1° приводит к задержке развития на 3 ч); наибольший выход личинок (97 %) при 35 °C, а отклонения в любую сторону приводят к гибели (при 38° выживает 52 %, при 29° — только 5 %). Температурный интервал, в котором предкуколки превращаются в куколок, а затем во взрослых пчел — 30—38 °C, а если ниже или выше этих границ на 1—1,5°, то развивающиеся пчелы погибают; оптимальный же интервал удивительно узок — 34—35 °C.

Сейчас медоносная пчела освоила все обитаемые части света (кстати, ее появлению на Американском континенте, в Австралии и Новой Зеландии способствовал человек), живет она даже там, где годовые

колебания температуры достигают 90—95°. Способность к жизни в столь суровых условиях обеспечена не повышением экологической пластичности (приспособленности к жизни в самых разных условиях) каждой особи, а благодаря общественной жизни семьями. Именно семья приобрела способность регулировать в гнезде микроклимат и в малой степени стала зависеть от внешней температуры.

Какие же биологические особенности позволяют пчелам переносить 50-градусную жару и 45-градусный мороз? Несмотря на многовековую историю пчеловодства, ответа на этот вопрос не было до середины нынешнего столетия, только с этого времени начались серьезные изучения терморегима пчелиного жилища. Более 15 лет изучает поведение медоносной пчелы, в том числе регуляцию микроклимата, автор этой статьи и рассказывает далее о том, как пчелам удается поддерживать оптимальные условия жизни в своем гнезде.

ПЧЕЛИНАЯ СЕМЬЯ

Семья медоносных пчел, как и других общественных насекомых (ос, шмелей, шершней), ничуть не похожа на семью высших животных. Пчелиная семья состоит из царицы, или матки, единственная функция которой — откладывать яйца; рабочих пчел (летом их бывает 60—80 тыс., к концу зимы остается 15—25 тыс.) — самок с недоразвитыми половыми органами и потому бесплодных к спариванию; трутней (от нескольких сотен до нескольких тысяч) тоже с единственным назначением — обеспечить продолжение рода, оплодотворяя царицу.

Пчелиная царица может жить до 5 лет, но в пчеловодстве обычно ее заменяют каждые 2 года, поскольку уже на третий год она откладывает меньше яиц. На рабочих пчел легли все заботы по обеспечению жизни семьи: они строят соты, поддерживают необходимые условия в гнезде, собирают воду, пыльцу, нектар, перерабатывают его в мед, регулируют роение, меняют старую матку на молодую и т. д. и т. д. Интересно, что рабочие пчелы тоже могут откладывать яйца, из которых развиваются одни лишь трутни, за что этих пчел называют трутовками.

Все физиологические процессы жизнедеятельности пчел очень интенсивны, потому жизнь их коротка: пчелы, которые вывелись весной — летом, живут всего 5—8 недель, а появившиеся осенью и обычно

не участвующие в работах, связанных с большим «физиологическим износом», переживают зиму и погибают весной.

Недолог и век трутней. В мае — июне они только появляются, доживают в семье до осени, а затем рабочие пчелы изгоняют их из гнезда, и трутни погибают или зимуют в безматочных семьях.

Способность зимовать на заготовленных запасах пищи (из 120—150 кг меда, собранного за сезон сильной пчелиной семьей, 100—120 кг она потребляет в течение года) — биологическая особенность медоносных пчел. Этим они отличаются от других общественных насекомых, у которых осенью рабочие особи вымирают и матка перезимовывает одна. А тем, что у медоносной пчелы в жизненном цикле нет периода покоя (диапаузы), она отличается от одиночно живущих насекомых. Утратив в ходе эволюции способность переносить зимние холода в состоянии диапаузы, пчелы приобрели другое свойство — регулировать микроклимат своего гнезда.

ТЕРМОРЕЖИМ

Влияние микроклимата на пчел огромно: их физиологическое состояние, работоспособность, продуктивность зависят от того, какова температура, газовый состав и влажность пчелиного жилища.

Абсолютное значение внутригнездовой температуры и ее стабильность меняются на протяжении всего годового цикла жизни, но наиболее благоприятный температурный режим поддерживается весной — осенью, когда из отложенных маткой яиц (до 2 тыс. в день) развиваются пчелы. Соты, где идет развитие, — зона расплода — располагаются в центре гнезда, здесь-то и создается оптимальный режим.

От числа взрослых особей и от количества ячеек с развивающимся потомством зависит внутригнездовая температура. Например при одних и тех же внешних условиях, когда 26-градусная дневная температура опускается ночью до +11 °С, в семье из 17—23 тыс. взрослых пчел, выращивающих всего 500—700 особей, температура в зоне расплода падает до 24—26 °С, а в такой же семье, но с 9—11 тыс. ячеек с личинками и куколками удерживается в интервале 29—31°. Независимо от того, в каком месте улья сосредоточены ячейки с расплодом — неподалеку от леткового отверстия или в центре пчелиного гнезда, пчелы всегда стремятся поддерживать вокруг них постоянную тем-

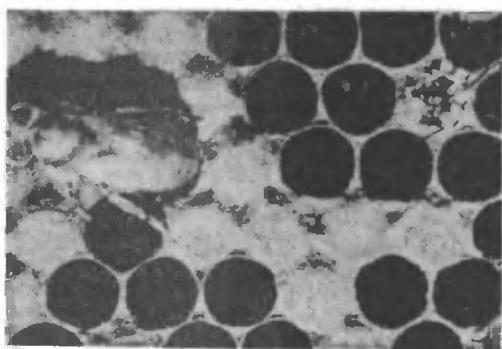
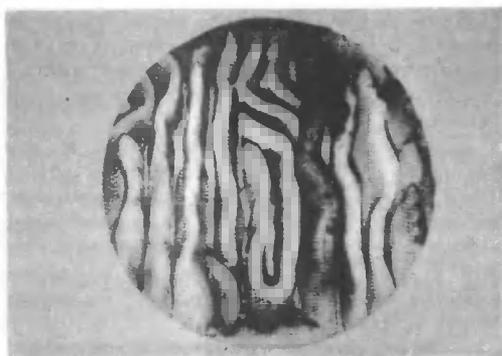
пературу, хотя не всегда и не во всех зонах гнезда им это удаётся в равной мере: на периферии гнезда (у стенки, противоположной летку) температура, как правило, на $1,5^{\circ}$ ниже чем в центре. В создании терморегима имеет значение и численность рабочих пчел: при удалении из пчелиной семьи половины взрослых особей температура в центральной части гнезда падает на $1—1,5^{\circ}$, а на периферии на $2—3^{\circ}$. Чтобы температура оставалась оптимальной, оставшаяся часть пчел должна работать усерднее, а для этого необходимо больше пищи: ведь энергетические затраты на обогрев увеличиваются. Такая же зависимость температуры от количества пчел наблюдается и в пчелиных «гроздьях», которые образуют пчелы при роении: понижение внешней температуры с 25 до 3°C приводит к падению ее в «грозди» из 5 тыс. особей с 35 до 30°C , а если живая «гроздь» состоит из 15 тыс. пчел, температура снижается всего на $1,5^{\circ}$ — с $35,5$ до 34°C .

В постоянном поддержании оптимальной для развития потомства температуры проявляется одна из форм заботы взрослых особей. С осени, когда основной расплод уже закончился и развивающихся насекомых осталось очень мало, а воздух за пределами улья становится все холодней, пчелы собираются между сотовыми рамками в том месте, где расплод еще остался. За счет уплотнения нескольких сотен особей в такой зоне и поддерживается наиболее высокая температура в гнезде.

Зимой пчелы собираются плотными группами, образуя тепловой центр, температура в котором не опускается ниже $24—28^{\circ}\text{C}$ (в умеренном климатическом поясе). Верхняя граница разогрева зависит от количества пчел в улье, их физиологического состояния и внешней температуры. Чем больше зимующих пчел, тем более высокую температуру им удается поддерживать.

Вклад развивающегося в сотах молодого поколения в температурный режим пчелиного жилища очень незначителен. Но зато расплод — это главный стимул для поддержания режима в гнезде взрослыми пчелами.

Осенью, когда последние отложенные яйца уже превратились в пчел и взрослым не о ком больше заботиться, температура в центре семейного гнезда не только опускается ниже оптимальной, но и колебания ее становятся значительно шире — от 28 до 33°C . Но стоит в это вре-



Гнездовые постройки пчел [сверху вниз]: пчелиное гнездо в дупле, гнездо семьи в полости кирпичной стены, рамка с сотами из улья.

мя появиться расплоду (матка почему-то запоздало начнет откладывать яйца или пчеловод поставит в улей соты с расплодом из другой семьи), как взрослые вновь поддерживают температуру на уровне $34—35^{\circ}\text{C}$. Строгий температурный режим поддерживается в зоне развития будущих маток: от него зависит размер тела будущих маток и количество яйцевых трубочек в яичниках. Это, в свою очередь, непосредственно связано с плодовитостью и с коли-

чеством меда и воска, вырабатываемых семьей. В типичной зоне развития трутневой терморегим наименее стабилен: здесь и температура ниже, и колебания ее значительней.

Возможно, терморегуляция в зоне расплода побуждается какими-то гормонами, которые выделяют развивающиеся насекомые. Недаром же взрослые пчелы заботятся только о живом расплоде на любой стадии его развития, а как только личинки или куколки погибают, их немедленно удаляют из жилища.

Итак, для обогрева зоны расплода и зоны, занятой только взрослыми, у пчел выработалась способность выделять и сохранять тепло. Его источником являются работающие летательные мышцы. Когда возникает необходимость обогреть жилище, эти мышцы не приводят в движение крылья, — они только слегка вибрируют. За счет микровибраций крыловых мышц повышается температура тела пчелы, и его теплом обогревается жилое пространство. Интересно, что тепло выделяется порционно. Например, при понижении температуры в гнезде с 33 до 30 °С температура грудного отдела пчелы повышается со скоростью 2° в минуту — с 34 до 37—38°, недолго (1—2 мин) остается на этом уровне и снова опускается до 35,0—35,5 °С. Такие скачки температуры тела продолжаются до той поры, пока воздух в гнезде не прогреется до оптимального уровня, тогда же стабилизируется и температура тела пчелы.

Если холодная погода продолжает держаться, то только за счет мышечной активности пчелам трудно поддерживать температуру на необходимом уровне, ведь это сопряжено с большими энергетическими затратами. Поэтому они приспособились ограничивать тепловые потери: тесно сгрудившись, они образуют «живое одеяло» и ограничивают тем самым обмен воздухом между внутригнездовым пространством и внешней средой. Этот способ довольно эффективен, поскольку не только преграждает путь в гнездо поступающему через леток холодному воздуху, но и снижает потери тепла каждой пчелой.

Все перечисленные способы терморегуляции пчелы приобрели для защиты своего гнезда от холода. Летом же им нередко приходится активно бороться с жарой. Оказалось, что пчелы способны и предупреждать перегрев своего жилища и охлаждать его.

Когда пчелиная семья становится слишком многочисленной, она разделяется

на несколько новых, пчелы начинают роиться. Еще до того как рой покинет материнскую семью, на поиски нового жилища вылетают «квартирмейстеры» и, обнаружив несколько подходящих дупел или других мест для поселения, через танец, который они исполняют на самой ровной грозди, сообщают готовому к полету рою о своих находках. Будущее жилище выбирают пчелы, образующие рой, причем не самое ближайшее, а только то, которое находится в защищенном от прямых солнечных лучей и ветра месте.

Однако выбор затененного непродуваемого гнезда не гарантирует тем не менее от перегрева. Для активной и надежной защиты от высокой температуры в процессе эволюции семьи пчелы приобрели целый комплекс наследственно закрепленных поведенческих реакций. Если перегрев невелик, пчелы рассредоточиваются, увеличивая этим теплоотдачу. Когда же рассредоточения недостаточно, они активно вентилируют помещение, и для этого выделяется специальный отряд так называемых вентилировщиц. Чем выше температура в улье, тем большее число пчел занимается вентиляцией и тем активнее они работают; создаваемый ими «ветер» и приводит к охлаждению.

Вентиляции сопутствуют звуки, частота которых соответствует частоте взмахов крыльями и зависит от того, насколько температура в гнезде выше оптимальной. При повышении температуры с 33 до 37 °С частота звуков, издаваемых вентилировщицами, возрастает с 75 до 145 Гц, а это служит сигналом для включения в работу дополнительного отряда вентилировщиц. Значит, первичный стимул для вентиляции гнезда — высокая температура, а вторичный — звук, возникающий во время работы вентилировщиц. В эксперименте с помощью звука частотой 130—150 Гц удается побудить к вентиляции пчел, находящихся не только в зоне с нормальной температурой, но даже за пределами гнезда.

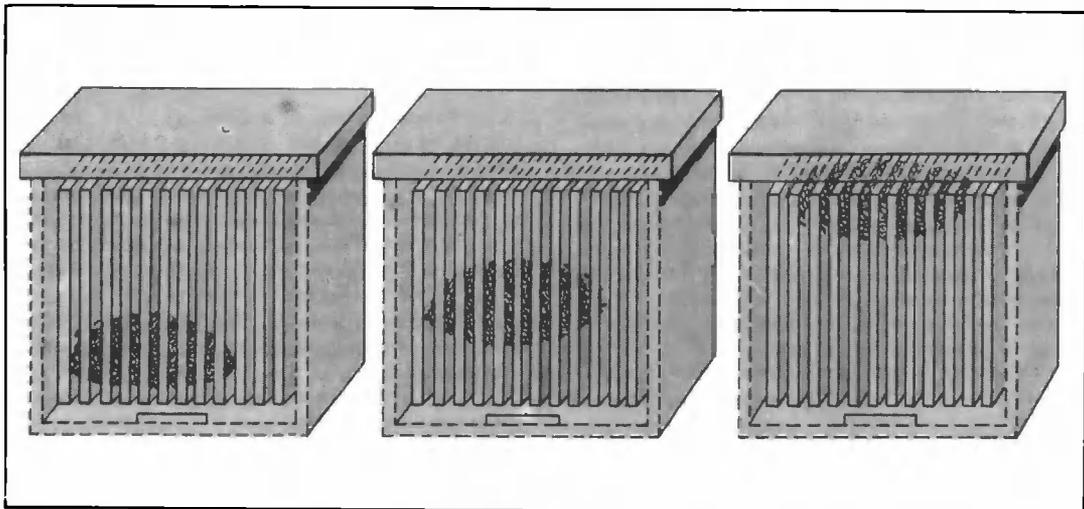
Когда вентиляцией не удается снизить до нужного уровня температуру в гнезде, пчелы специально для охлаждения приносят туда воду.

Способность пчелиной семьи к терморегуляции гнезда связана с высокой чувствительностью к колебаниям температуры терморцепторов — холодовых и тепловых. Холодовые рецепторы, способные улавливать понижение температуры на 0,25°, служат для ориентации по температурному градиенту в процессе холодовой агрегации, по их же сигналу активизируется

микровибрация летательных мышц. Тепловые рецепторы у пчел нетипичны: судя по исследованиям немецкого физиолога В. Лачера, они одновременно реагируют на нагрев и на повышение концентрации углекислоты¹. Совмещение двух функций в одних и тех же сенсиллах имеет важный биологический смысл: со спецификой работы тепловых рецепторов связано своеобразие механизмов терморегуляции в пчелином гнезде. Когда для обогрева своего жилища пчелы собираются большими группами, внутри таких скоплений повышает-

Изменения относительной влажности в пчелином гнезде следуют не за ее атмосферными колебаниями, а за изменением температуры внешней среды, так как именно температура строго регулируется пчелами. Влажностью отличаются разные зоны гнезда, наибольшей она бывает там, где скапливаются пчелы: зимой, например, воздух наиболее влажен в тепловом центре.

Можно ли рассматривать влажность внутригнездового воздуха как фактор, активно действующий на пчел и регулируе-



Размещение зимующих пчел в улье. По мере похолодания пчелиный «клуб» удаляется от леткового отверстия.

ся и температура, и концентрация углекислого газа. В результате тепловые рецепторы подвергаются однонаправленному действию двух стимулов, взаимно усиливается действие каждого из них и ответные реакции пчел ускоряются.

ГИГРОРЕЖИМ

Другой показатель микроклимата в пчелином гнезде — влажность воздуха, или гигрорежим, также непостоянен и зависит от температуры и влажности атмосферного воздуха, от активности жизненных процессов пчел, от количества влаги в их пище.

мый ими? Скорее всего нет, так как изменение влажности зависит от аэрации пчелами жилища, а последняя связана, как мы упоминали, с температурой в улье. Влага, поступающая в улей за счет дыхания и испарения ее наружными покровами пчел составляет немалую величину (летом семья из 30 тыс. пчел каждые сутки выделяет до 200—300 г воды), а количество воды, испаряемой нектаром в процессе его переработки в мед в несколько раз больше. Тем не менее даже их сумма не дает существенного вклада в гигрорежим гнезда, если температура в нем поднимается и насекомые активно вентилируют помещение. Так же и вода, которую приносят пчелы-водоносы в жаркую погоду, служит в основном для охлаждения жилища, а не для повышения в нем влажности. И все же определенный гигрорежим в гнезде важен, хотя и допустимы колебания влажности в широких пределах.

Уже ранней весной, когда еще не начали цвести растения, а температура за стенами улья довольно низка (иногда 7—

¹ Lacher V.— Z. vergl. Physiol., 1964, Bd. 48, S. 587.

9 °С), пчелы во множестве устремляются к небольшому теплым и тихим лужам и, набрав воды, возвращаются в улей. Активность водоносов и весной, и в летнее время обусловлена, кроме высокой температуры в гнезде, содержанием воды в их углеводном корме: чем выше концентрация сахаров в пище, тем больше потребность пчелиной семьи в воде.

Что же побуждает пчел носить воду и как такая работа координируется? Первостепенное значение в этом имеет обмен кормом. Получив высококонцентрированный углеводный корм, особи старшего возраста (на их долю выпадает выполнение внеульевых работ) отправляются за водой. Возвратившись в гнездо, они отдают воду другим, работающим в улье, и получают из их медового зобика мед. Если он оказывается слишком концентрированным, водонос вновь отправляется к водоему. Водоносы прекращают свою деятельность, когда концентрация углеводов в получаемом ими корме снижается до нормальной. Следовательно, индивидуальная чувствительность к концентрации углеводов в медовом зобике обеспечивает ее выравнивание у членов всей семьи.

Своеобразно отношение пчел-водоносов к запаху воды: они предпочитают чистой воде ароматизированную различными веществами. Дело в том, что пчелы-водоносы по запаху скорее отыскивают водоем, по запаху же пчелы, выполняющие внутригнездовые работы, легче обнаруживают водоносов среди множества других, возвратившихся в улей. Если ульевые пчелы забирают воду у водоносов меньше чем за 30—40 с, водоносы исполняют танец и по этому приглашению в доставку воды включаются новые пчелы.

Количество пчел-водоносов и их активность зависят от сезона и погоды: в полосу с умеренным климатом они наиболее активны во второй половине весны — начале лета, а в зонах с жарким климатом — во второй половине лета, т. е. или когда еще не цветут медоносные растения и пчелы питаются старыми запасами меда, или когда перегревается их жилище. Если же пчелы собирают нектар или плодовые соки, деятельность водоносов тормозится, а при низкой концентрации сахаров в корме приостанавливается совсем.

Сколько сильным стимулом для пчел-водоносов служит повышение внешней температуры, а следовательно и угроза перегрева гнезда, показывают опыты М. Линдауера и Г. Кихле². В их экспериментах из гнезда подопытной семьи при 21 °С к поил-

ке, расположенной рядом с ульем, за 15 мин прилетало не более двух пчел, но когда температуру искусственно поднимали до 37 °С, количество водоносов возрастало до 30—37.

Перегрев гнезда стимулирует деятельность водоносов и потому, что при этом повышается концентрация углеводов в медовых зобиках пчел. Конечно, вода, доставленная в гнездо для его охлаждения, испаряясь, увлажняет и воздух в гнезде, однако снижение внутригнездовой влажности воздуха не стимулирует деятельность водоносов.

ГАЗОВЫЙ СОСТАВ ВОЗДУХА

Концентрация кислорода и углекислого газа, так же как и другие показатели микроклимата пчелиного гнезда, меняется в разные периоды жизни семьи, в различных зонах гнездового пространства и в большой степени зависит от его аэрации. Наибольшая концентрация кислорода и наименьшая углекислоты, т. е. самый благоприятный для дыхания состав воздуха, приходится на время развития молодки.

Во второй половине осени — начале зимы в центре пчелиного гнезда концентрация углекислоты составляет в среднем 5 % (бывает и 8—11 %), а кислорода 3—4 %. На периферии в это время кислорода больше — 14—16 %, а углекислого газа — 1—1,6 %.

Мы уже рассказывали, что концентрация углекислоты в пчелином гнезде контролируется специальными рецепторами. Нервные центры, ответственные за координацию поведенческих реакций пчелы, тем скорее получают информацию от рецепторов, чем выше концентрация углекислого газа в воздухе. Избыток углекислоты удаляется из зимнего «клуба» теми же способами, которые используются для понижения температуры: сначала «клуб» делается более рыхлым, а если нужно — начинается вентиляция гнезда.

О появлении в «клубе» вентиляров можно судить по издаваемому ими звуку, частота и интенсивность которого связаны с концентрацией углекислого газа. Следовательно, определив параметры звука, можно вычислить содержание угле-

² Lindauer M.— Ibid., 1954, Bd. 36, S. 391; Kiechle H.— Ibid., 1961, Bd. 45, S. 154.

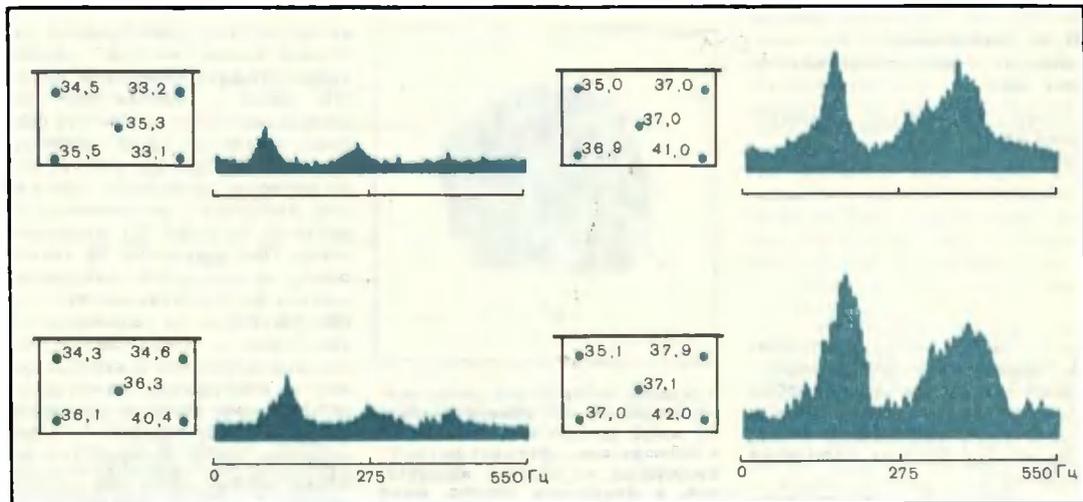
кислого газа и при необходимости проветрить улей.

Поразительна у пчел выносливость к этому газу. Если пчел, проживших всего 24 ч, поместить в атмосферу чистой углекислоты на 5 мин, они не погибают от удушья (для человека смертельна концентрация 14—15%), укорачивается лишь срок их жизни (в среднем 34,6 дня вместо 42,4); дышат чистым углекислым газом 10 мин — живут 30 дней; 20 мин — 24 дня.

Итак, следя за изменением температуры, влажности и концентрации газов в

может принести также искусственная регуляция микроклимата в улье весной и в период зимовки пчел, поскольку позволяет снизить потребление корма пчелами и тем самым повысить их продуктивность.

Закончив рассказ о регуляции пчелами микроклимата в своем гнезде, напомним, что в обширном классе насекомых лишь немногие из них способны генерируемое тепло использовать для обогрева своего гнезда. Медоносная пчела как раз входит в число видов таких насекомых. Пчелы меньше многих других насекомых



Влияние разогрева на интенсивность звуков, издаваемых пчелами. Слева от спектров показана температура в различных зонах гнезда.

пчелином гнезде и наблюдая за жизнью насекомых, удалось выяснить, как пчелы регулируют микроклимат своего жилища. Безусловно, эти знания важны для биологии, для понимания общественной жизни пчел. Полученные сведения или экспериментальные приемы можно применить и в пчеловодстве.

Регистрируя температуру в улье, можно оценить холодостойкость семьи: та семья, которой удается поддерживать наиболее стабильный терморегим при значительных колебаниях внешней температуры и является устойчивой к холоду. Отбраковка семей с неустойчивым терморегимом позволит вести селекцию на холодостойкость. Практическую пользу

зависят от температуры внешней среды. Именно способность выделять тепло послужила основой к объединению многих тысяч особей в единую семью, она-то и стала той элементарной единицей отбора, которая совершенствовалась в ходе эволюции.

У пчел развились специфические приспособления и поведенческие реакции, которые обеспечили им способность регулировать микроклимат гнезда. В многочисленной семье усилилась взаимосвязь и взаимозависимость между членами семьи, в ее филогенезе прогрессировали такие формы поведения, которые помогали экономно расходовать энергию за счет взаимодействия ее членов.

Объединенными усилиями пчелам удается обеспечить себе и потомству необходимые условия в своем гнезде, где бы оно ни находилось — в жарких пустынях или в высоких широтах. Способность медоносной пчелы регулировать внутригнездовой микроклимат ставит ее на особое место среди насекомых и объясняет глубокий интерес к ней биологов.

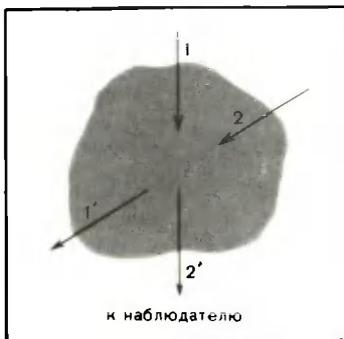
Эффект Сюняева — Зельдовича подтвержден экспериментально

Ю. Э. Любарский,
кандидат физико-математических наук

Институт космических исследований АН СССР
Москва

Английские астрономы М. Биркиншоу, С. Галл и американский астроном Г. Хардебек обнаружили понижение яркости фонового излучения в направлении на три богатых скопления галактик¹.

Эффект был теоретически предсказан Р. А. Сюняевым и Я. Б. Зельдовичем в 1972 г. К этому времени благодаря развитию рентгеновской астрономии было установлено, что в богатых скоплениях галактик имеется межгалактический газ с температурой 10^8 К и плотностью электронов 10^{-2} — 10^{-3} частиц/см³. Р. А. Сюняев и Я. Б. Зельдович рассмотрели рассеяние реликтового излучения на горячих электронах в таких скоплениях. Как известно, Вселенная однородно заполнена излучением с температурой около 3 К, которое сохранилось с тех времен, когда горячая и плотная первичная плазма представляла собой равновесную смесь элементарных частиц и излучения. В ходе космологического расширения плазма охладилась, вещество собралось в



Рассеяние изотропного реликтового излучения на облаке плазмы. На место фотона 1, движущегося к наблюдателю, приходит фотон 2', рассеянный из другого направления. В результате полное число фотонов, движущихся к наблюдателю, не изменяется.

отдельные сгустки, сформировав звезды, галактики и скопления галактик, а фотоны продолжали распространяться в теперь уже прозрачной Вселенной, только их частота постоянно уменьшалась из-за эффекта красного смещения. В настоящую эпоху мы наблюдаем их в радиодиапазоне.

Поскольку реликтовое излучение однородно и изотропно, его рассеяние в облаке плазмы не приводит к уменьшению полного числа фотонов, движущихся к наблюдателю. Как отметили Р. А. Сюняев и Я. Б. Зельдович, благодаря изменению частоты фотона при рассеянии спектр рассеянного излучения будет другим, следо-

вательно, ведя наблюдения на определенной частоте, можно зафиксировать изменение яркости фона в направлении на скопление галактик. Частота фотона меняется из-за эффекта Доплера, поскольку электроны, на которых происходит рассеяние, движутся с тепловыми скоростями порядка 0,1 скорости света. При рассеянии на электроне, движущемся навстречу, частота фотона увеличивается, а при рассеянии на удаляющемся электроне — уменьшается. Поскольку вероятность столкновения с электроном, движущимся навстречу, больше, фотоны в среднем увеличивают свою энергию. Таким образом, спектр рассеявшихся фотонов будет сдвинут в сторону меньших длин волн. В результате в длинноволновой области спектра интенсивность излучения понизится, а в субмиллиметровом диапазоне — значительно увеличится.

К сожалению, субмиллиметровый диапазон только начинает осваиваться астрономами, поэтому последнее предсказание еще ожидает наблюдательной проверки. Зато в сантиметровом диапазоне, где не мешает атмосфера, техника наблюдений развита очень высоко и попытки обнаружить эффект Сюняева — Зельдовича делались начиная с 1972 г. Первые наблюдения были проведены под руководством Ю. Н. Парийского на радиотелескопе Пулковской обсерватории. По-видимому, понижение яркости реликтового фона действительно наблюдалось, но измерения проводились на пределе чувствительности аппаратуры и не отличались достоверностью. Дело в том, что газ в скоплениях галактик почти прозрачен и

¹ Birkinshaw M., Gull S., Hardebeck H.— Nature, 1984, v. 309, p. 34.

рассеивается только несколько процентов фотонов, проходящих через него. Поэтому и ожидаемый эффект очень мал: относительное понижение яркости должно быть не больше 10^{-3} .

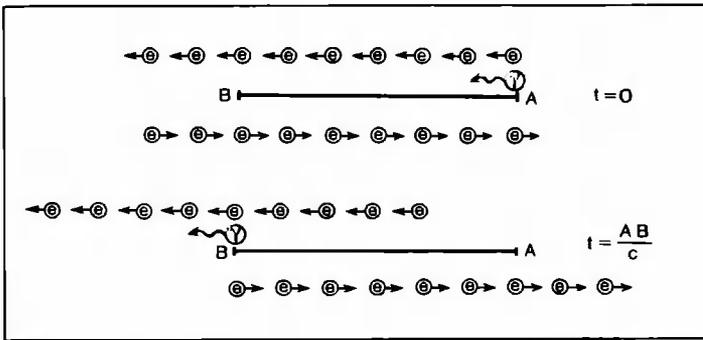
Но вот, наконец, многолетние усилия, направленные на повышение чувствительности приемников, увенчались успехом. Наблюдения М. Биркиншоу,

С. Галла и Г. Хардебекка, проведенные на 40-метровом радиотелескопе обсерватории Оуэнс Велли (Калифорнийский технологический институт, США), позволяют с уверенностью утверждать, что эффект Сюняева — Зельдовича обнаружен в направлении на три богатых скопления галактик. Зафиксировано падение яркости реликтового фона, соответствующее

расстояние до него. Тем самым мы получаем возможность измерить постоянную Хаббла — важнейший космологический параметр, определяющий скорость расширения Вселенной². До сих пор шкала межгалактических расстояний устанавливалась с помощью длинной цели калибровок одних масштабов по другим; в результате накапливалась значительная ошибка.

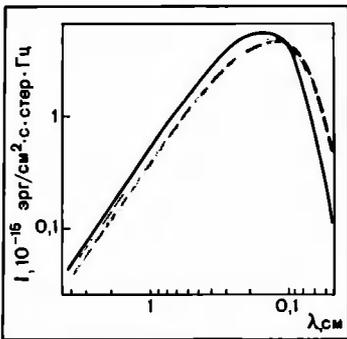
Измерения спектра реликтового излучения в направлении на скопления галактик позволяет определять их так называемую peculiarную скорость, т. е. скорость движения относительно системы отсчета, связанной с реликтовым излучением, которое играет роль нового эфира. Это имеет важное значение для теории образования галактик. Эффект Сюняева — Зельдовича также даст возможность измерять слабую анизотропию реликтового фона и отклонения его спектра от чернотельного.

М. Лонгейр, видный английский радиоастроном, в своем комментарии к сообщению М. Биркиншоу, С. Галла и Г. Хардебекка отмечает, что ожидаемое в ближайшие годы повышение еще на порядок чувствительности приемников сулит захватывающие перспективы и в следующем десятилетии наблюдения флуктуаций реликтового фона станут фундаментом астрофизической космологии.



одномерная модель рассеяния фотона γ на движущихся электронах e . За время, необходимое фотону, чтобы пройти отрезок АВ, мимо него пройдет больше электронов, движущихся вправо, т. е. навстречу. Поэтому рассеяние на таких электронах будет происходить чаще.

щее уменьшению температуры на (0,5—1,5) мК.



Искажения спектра реликтового излучения при рассеянии на горячем газе в скоплениях галактик. Сплошная кривая — спектр черного тела с температурой 2,7 К; пунктир — спектр этого излучения после рассеяния на горячих электронах. По оси ординат — интенсивность I реликтового излучения, по оси абсцисс — длина волны λ . Для наглядности величина искажений увеличена.

Скопление	Понижение температуры фона, мК
0016+16	$1,584 \pm 0,256$
A 665	$0,503 \pm 0,136$
A 2218	$0,507 \pm 0,143$

Эффект Сюняева — Зельдовича позволяет не только измерять физические характеристики газа в скоплениях галактик. Он имеет принципиальное значение и для космологии. Понижение яркости в направлении на скопление определяется температурой плазмы и числом электронов на луче зрения. По мощности и спектру рентгеновского излучения газа можно установить его температуру и так называемую меру эмиссии — произведение квадрата плотности электронов на объем облака газа. Комбинируя эти данные, можно получить размер скопления, а зная его видимый угловой размер, определить

² Как известно, в однородно расширяющейся Вселенной действует закон Хаббла: скорость, с которой галактика удаляется от нас, пропорциональна расстоянию до нее, т. е. $v = Hr$, где H — постоянная Хаббла. С помощью этого закона определяются расстояния до внегалактических объектов.

Воздушный буфер Антарктиды

И. И. Цигельницкий,
кандидат географических наук

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

В современной климатологии существуют разные точки зрения на тенденции изменения температуры в земной атмосфере. Одни специалисты считают, что под влиянием антропогенных выбросов она повышается во многих районах мира и в дальнейшем будет расти. Другие полагают, что средняя температура земной атмосферы в последнем столетии понижается. Та и другая тенденция должна была бы отразиться на состоянии исполинского Антарктического ледника, объем которого составляет почти 25 млн км³. В первом случае он должен таять, при этом уровень Мирового океана может повыситься на несколько десятков метров, во втором — объем льда в Антарктиде должен расти. Однако на самом деле за последние 200 лет (период инструментальных наблюдений) количество льда в Антарктическом леднике остается почти стабильным, несмотря на зафиксированные периоды похолоданий и потеплений в атмосфере Земли.

Исследования последних лет, проведенные в Антарктиде, дают основание считать, что стабилизатором состояния ледникового покрова здесь является нижний пограничный слой атмосферы толщиной около 1 км, где наиболее активно взаимодействуют атмосфера и подстилающая ее поверхность. Однако, прежде чем рассказать о процессах, происходящих в этом слое, вернемся к ледниковому покрову Антарктиды.

В настоящее время приходная и расходная статьи ледникового бюджета Антарктиды примерно сбалансированы. То количество льда, которое ежегодно теряется ледником в результате летнего таяния, откола айсбергов и сдувания снега с поверхности стоковыми ветрами¹, регулярно восполняется благодаря переносу влаги на

материк из умеренных океанических широт воздушными течениями. Поступающая влага осаждается на поверхность ледника в виде снега и мельчайших ледяных игл, непрерывным потоком выпадающих из атмосферы во внутренних областях материка.

Почему, например, ледник не увеличивается в размерах? Казалось бы для этого имеются подходящие условия. Действительно, радиационный баланс системы ледник — атмосфера — отрицательный, поскольку потери тепла за счет длинноволнового излучения превышают приток тепла к поверхности в виде коротковолновой радиации. За год общие потери лучистой энергии всей поверхностью ледника составляют $3,10 \cdot 10^{22}$ Дж. Столь большой постоянный дефицит тепла должен был привести к непрерывному выхолаживанию и к росту ледникового купола. Однако этого не происходит. Точно так же, как потери ледникового вещества восполняются поступлением влаги из умеренных широт, потери тепла с поверхности ледника компенсируются, главным образом, адвекцией более теплых воздушных масс из умеренных широт и в значительно меньшей степени — турбулентным перемешиванием в нижней тропосфере.

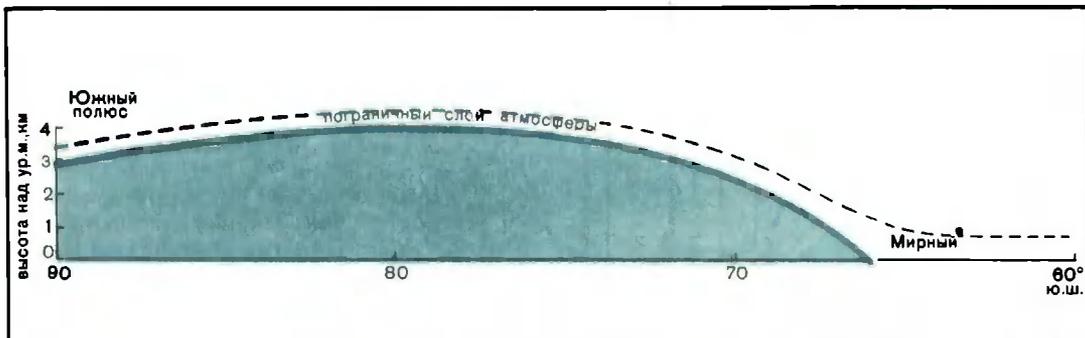
Антарктида — единственный на Земле материк, где поток турбулентного тепла направлен не от поверхности к атмосфере, а наоборот из атмосферы к ледниковому покрову. Аномальное, по сравнению с другими климатическими областями, направление турбулентного потока тепла связано с величиной и знаком вертикального градиента температуры воздуха именно в пограничном слое атмосферы Антарктиды, изучением которого занимается автор в последние годы².

¹ Цигельницкий И. И. Стоковые ветры Антарктиды. — Природа, 1982, № 11, с. 28.

² Цигельницкий И. И. Структура пограничного слоя атмосферы над Восточной Антарктидой. — В сб.: Антарктида. Доклады комиссии АН СССР. 1982, вып. 21, с. 19.

Подстилающая его поверхность в полярных областях состоит из чередующихся участков снега, льда и воды. По своим теплофизическим свойствам и характеру рельефа она разительно отличается от любой поверхности в других областях земного шара. В южной полярной области — это пологая, уплотненная и отшлифованная ветром поверхность ледника, нарушаемая лишь редкими выходами скальных пород, полосами трещин и грядами снежных застругов. Величина параметра шероховато-

5—6 °С на один километр. В Антарктиде же, благодаря большой отражательной способности подстилающей поверхности и значительным потерям тепла за счет длинноволнового излучения, нижние слои тропосферы оказываются самыми холодными. В результате — температура с высотой повышается и вертикальный градиент температуры меняет знак — возникает обратный вертикальный ход температуры, так называемая приземная инверсия, начинающаяся от самой поверхности ледника.



Расположение пограничного слоя атмосферы над ледниковым покровом Восточной Антарктиды (разрез по линии Южный полюс — Мирный).

сти здесь минимальна и колеблется от сотых до десятых долей сантиметра. (Например, в пустыне и дубовом лесу этот коэффициент составляет 0,03 и 100 см.)

Если в умеренных широтах альбедо (отношение величины потока отраженной радиации к величине падающей солнечной радиации) влажной почвы составляет 5—10 %, сухого каменистого грунта 10—20 %, травянистого покрова 20—25 %, то альбедо снежно-ледяной поверхности антарктического ледника в среднем равно 80 %. Другими словами, 4/5 приходящей солнечной радиации отражается обратно в атмосферу.

Поэтому в полярных областях формируется пограничный слой атмосферы с резко отличающимися от всех остальных климатических областей тепловым и динамическим состоянием.

Для нижней тропосферы умеренных и низких широт типичными является понижение температуры с высотой с вертикальным градиентом в среднем равным

Приземная инверсия температуры — наиболее характерная черта климата полярных областей. В Антарктиде же она принимает экстремальные для всего земного шара значения. Во внутренних областях антарктического материка среднегодовая повторяемость приземной инверсии составляет 98 %, толщина слоя инверсии достигает 700 м, а интенсивность, выраженная перепадом на нижней и верхней границах, равна 18 °С. Так, в середине антарктической зимы, в июле, температура у поверхности ледника в Центральной Антарктиде в среднем составляет минус 67 °С, а на высоте около 700 м близ верхней границы приземной инверсии — минус 41 °С. Повышение температуры в слое приземной инверсии происходит неравномерно. Особенно велика величина вертикального градиента температуры в самых нижних, прилегающих к поверхности ледника слоях, где она может достигать 30—40 °С на 100 м высоты. Поскольку при таких условиях конвекция полностью отсутствует, пограничный слой атмосферы над Антарктидой отличается исключительной термической устойчивостью.

Вертикальное распределение водяного пара в пограничном слое атмосферы умеренных и низких широт определяется интенсивностью испарения влаги с нагреваемой солнечной радиацией поверхности.

Обычно над поверхностью суши и океана содержание водяного пара убывает с высотой. Над антарктическим ледником в условиях температурной инверсии влажность воздуха с высотой растет, достигая наибольших для высоких широт значений близ верхней границы приземной инверсии температуры. Таким образом, инверсия температуры создает инверсию влажности.

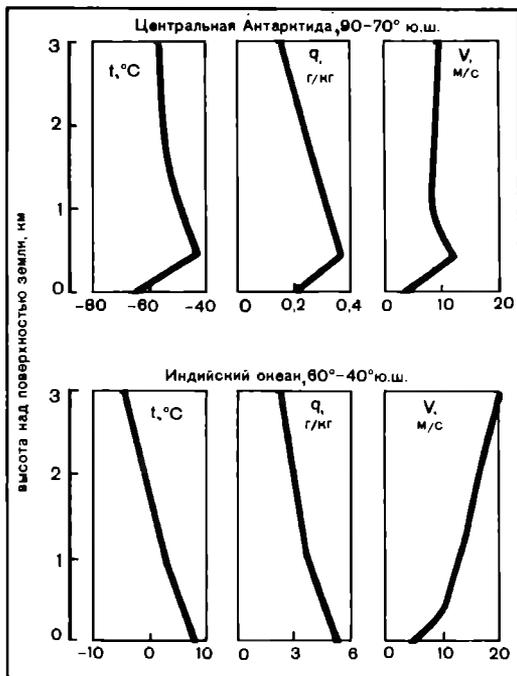
Адвективные потоки тепла и влаги из умеренных широт, достигая внутренних областей Антарктиды, оказываются не в состоянии разрушить термически устойчивый

«полярной дымки». Полярная дымка располагается близ верхней границы теплового пограничного слоя.

Верхняя граница приземной инверсии температуры, точно устанавливаемая по данным аэрологического зондирования атмосферы, является одновременно и верхней границей теплового пограничного слоя над снежно-ледяной поверхностью. Толщина теплового пограничного слоя определяется степенью интенсивности радиационного выхолаживания подстилающей поверхности и колеблется в центре материка от 350 м летом до 850 м зимой. В умеренных и особенно низких широтах над сушей и океаном толщина теплового пограничного слоя значительно больше и составляет 1000—1500 м благодаря интенсивному нагреву подстилающей поверхности и хорошо развитой вертикальной термической конвекции.

Характер вертикального распределения скорости и направления ветра в пограничном слое определяется особенностями динамического взаимодействия нижних слоев тропосферы с подстилающей поверхностью. Эти особенности складываются из взаимодействия силы трения, зависящей от степени шероховатости поверхности, и отклоняющей силы вращения Земли (силы Кориолиса). Типичным для большинства климатических областей Земли является рост скорости ветра с высотой вследствие ослабления силы трения и поворот направления — правый в Северном и левый в Южном полушарии под влиянием силы Кориолиса. Характерная толщина динамического пограничного слоя в умеренных широтах 1000 м, а величина угла поворота 15—20°.

Как же распределяется с высотой скорость и направление ветра в Антарктиде? Сразу заметим, что для склона ледникового купола и значительной части побережья материка свойственны гравитационные стоковые ветры, направленные вдоль по склону к побережью³. Оказывается, что при стоковых ветрах вертикальное распределение скорости ветра, так же как и вертикальное распределение температуры и влажности воздуха, приобретает противоположный (инверсионный) характер. Начиная с высоты установки ветроизмерительных датчиков — 10 м над поверхностью, скорость ветра уменьшается с высотой. И только когда стоковые ветры сменяются



Характерные различия в вертикальном распределении температуры (t , °C), влажности воздуха (q , г/кг) и скорости ветра (V , м/с) над ледниковым покровом Центральной Антарктиды и океанической поверхностью в умеренных широтах Индийского океана.

пограничный слой, поэтому процессы конденсации влаги сосредоточены близ верхней границы приземной инверсии температуры и влажности. Здесь, между пограничным слоем и свободной атмосферой образуется квазистационарный тонкий, полупрозрачный слой, состоящий из мельчайших ледяных игл, через который в дневное время хорошо виден солнечный диск, а ночью — луна и звездное небо. Такое, несвойственное другим климатическим областям Земли явление получило название

³ См. сноску 1.

циклоническими, направленными с океана, распределение скорости ветра с высотой приобретает обычный характер — скорость растет.

Еще одна характерная черта вертикального распределения скорости ветра в Антарктиде заключается в том, что скорость ветра с высотой растет неравномерно. На некоторой высоте внутри динамического пограничного слоя образуется максимум скорости, происхождение которого тесно связано с приземной инверсией температуры. В этом случае верхняя граница температурной инверсии служит своеобразным фронтальным разделом, отделяющим более холодный и плотный нижний слой воздуха от более теплого и разреженного верхнего. Именно здесь, в зоне постоянных максимальных контрастов температуры, происходит ускорение воздушного потока, скользящего по поверхности наиболее плотного переохлажденного нижнего слоя, и образуется так называемое мезоструйное течение. Мезоструйным оно названо в отличие от более высоких тропосферных и стратосферных струйных течений. Ось мезоструйного течения в пограничном слое Антарктиды с максимальными скоростями до 50 м/с располагается вблизи верхней границы температурной инверсии, т. е. теплового пограничного слоя.

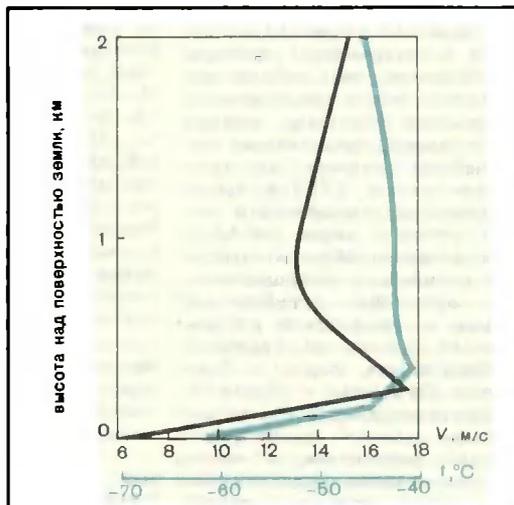
Толщина динамического пограничного слоя, определяемая как толщина слоя, в котором прекращается поворот ветра и заканчивается рост скорости при циклонических и падение при стоковых ветрах, составляет в Центральной Антарктиде 600 м, что почти вдвое меньше, чем над океанической поверхностью в умеренных и низких широтах.

Благодаря повышенной термической устойчивости величина среднего в пограничном слое коэффициента турбулентности над внутренними областями материка почти на порядок меньше, чем над свободной ото льда океанической поверхностью, и составляет $6 \text{ м}^2/\text{с}$. В этом также проявляется влияние мощной приземной инверсии температуры, препятствующей развитию турбулентного тепло-, влаго- и энергообмена в пограничном слое атмосферы над ледниковым покровом Антарктиды.

Известно, что изменения климата существенным образом отражаются на состоянии подстилающей поверхности и выражаются в полярных областях в колебаниях площади морских и материковых льдов, положения снеговой границы, площади вечномерзлых грунтов и других показателей,

а изменения характера подстилающей поверхности, в свою очередь, незамедлительно сказываются на тепловом и динамическом состоянии пограничного слоя атмосферы — так называемый механизм обратной связи. Таким образом, имеются все основания рассматривать пограничный слой атмосферы в качестве важнейшего звена климатической системы.

В результате образования и развития антарктического ледникового покрова со свойственными только ему рельефом, характером подстилающей поверхности, ра-



Изменение температуры (цветная кривая) и скорости ветра с высотой. Приземная инверсия температуры определяет и особенности изменения скорости ветра. Максимум скорости ветра располагается вблизи верхней границы слоя температурной инверсии.

диационным режимом и условиями атмосферной циркуляции образовался своеобразный «воздушный буфер» — пограничный слой атмосферы с аномальным относительно других климатических областей вертикальным распределением метеорологических величин, повышенной термической устойчивостью и малой турбулентностью. Приземная инверсия температуры становится в этом случае механизмом, регулирующим тепловое и динамическое взаимодействие подстилающей поверхности с атмосферой. Она приобретает важное климатообразующее значение, способствуя сохранению устойчивого современного состояния материкового оледенения Антарктиды.

Сорок ячменных зерен урожая 1735 г. (из истории освоения Дальнего Востока)

Л. А. Гольденберг,
доктор исторических наук
Москва

Историки и архивисты, систематически занимающиеся исследованиями и обработкой сохранившихся письменных источников в исторических архивах, как правило, не избалованы находками новых вещественных материалов. Поэтому каждая такая находка представляет необычайный интерес. Так, среди документов XVIII в. Центрального государственного архива древних актов (ЦГАДА) были найдены образцы сукожных изделий, мумифицированные временем отрубленные пальцы — предметное доказательство одного из судебных разбирательств, перчатки Елизаветы Петровны и Павла I, пуговицы-медальоны с изображением деятелей эпохи французской революции, а также мasonicкие знаки, ордена и медали. Среди старинных столбцов XVII в. иногда попадаются орудия труда писцов — гусиные перья с засохшими на концах чернилами, а на страницах рукописных книг XVIII в. — бриллиантовые россыпи крупинки мельчайшего песка, замечавшего в старину промокательную бумагу. В личных фондах встречаются различного рода медальоны, коробки, коробочки и другие предметы.

В фонде Сената нам повезло натолкнуться на неожиданную и необычную находку, с которой связана деятельность двух известных участников освоения Дальнего Востока в первой половине XVIII в. Один из них — Василий Иванович Казанцев, флотский капитан-поручик, родом из Казани, «польской нации» человек. Был ранен на Северной войне, затем до 1727 г. служил в Кронштадте. За «непристойные слова», осуждающие ссылку А. Д. Меншикова, отправлен в 1728 г. в Сибирь к В. Берингу. Послед-

ний не принял Казанцева в Камчатскую экспедицию, но в 1730 г. оставил на службе в Тобольске. В 1732 г. бывший капитан-поручик был направлен в распоряжение охотского командира Г. Г. Скорнякова-Писарева, а затем из Охотска выехал на Камчатку для строительства — совместно с геодезистом и камчатским правителем М. С. Гвоздевым — острогов на реках Большой и Камчатке. С 1732 по 1747 г. местные сибирские и центральные власти рассматривали доносы обиженного Казанцева на участников Второй Камчатской экспедиции, в частности на Беринга: обвинительные пункты за это время возросли с 27 до 400. Разбирательством долго занимались Охотское правление, Якутская, Иркутская и Тобольская канцелярии, Адмиралтейская коллегия, Сибирский приказ, Сенат, Тайная канцелярия.

Второй участник — Григорий Григорьевич Скорняков-Писарев, сподвижник Петра I, капитан-поручик Преображенского полка. Он возглавлял строительство ряда гидрографических сооружений, с 1715 г. преподавал артиллерийское дело в Морской академии, в 1718 г. участвовал в суде над сторонниками первой жены Петра Едодки Лопухиной. В 1719—1722 гг. Писарев — президент Морской академии, генерал-майор, с 1722 г. — обер-прокурор Сената. Талантливый, незаурядный и образованный человек, он в 1722 г. опубликовал первое русское учебное руководство по механике «Наука статическая, или механика». Обвиненный в заговоре против Меншикова, в 1727 г. разжалован, наказан кнутом и сослан в Жиганское зимовье. В 1731 г. ему поручалась «главная команда над Охотским портом». В правительственных кругах возлагали надежды на успешное выполнение вновь назначенным охотским командиром детальной программы по устройству адми-

нистративного устройства и экономического развития Восточной Сибири. Писареву поручалось те места «людьми умножить и хлеб засеять», принять энергичные меры к поселению крестьян в районы Охотска, Юдомского креста, Удского¹ и Камчатских острогов, отправить в Охотск «для заводу» лошадей, мелкий рогатый скот, а также «хлебных всяких семян», надзирать за камчатскими приказчиками, чтобы «лучше радели и скот и хлеб размножали».

В период начального освоения Восточной Сибири и Дальнего Востока в XVII—XVIII вв. необычайные трудности снабжения и дороговизна в русских форпостах, в первую очередь трудности, связанные с доставкой хлеба, явились одной из существенных причин для заселения крестьянами новых районов, расширения ареалов распространения сельскохозяйственных культур. Русские землепроходцы тщательно исследовали региональные, пригодные для земледелия. Якутский комендант и глава экспедиции на Камчатку А. Я. Ельчин, основываясь на сообщениях казаков и И. П. Козыревского, первооткрывателя этого полуострова и других районов, составил в 1718 г. «просительное письмо, что б к ним послать на Камчатку всяких хлебных семян и овощных, и по оному прошению семян хлебных и овощных к ним послано... там земля довольно и хлеб будет родитца». Якутский казак И. Каргопол с товарищами сообщил, что «от Уцкого острогу ечмень во вся годы родитца». Служилые люди во главе с сыном боярским С. Харитоновым были посланы «для заводу пашен и по-

¹ Имеется в виду Удский острог на р. Уде, впадающей в Удскую губу Охотского моря, в отличие от одноименного острога на одноименной же реке, впадающей в р. Селенгу.

сеяния хлеба»². В проекте организации Дальневосточной экспедиции 1725 г. якутский казачий голова А. Ф. Шестаков, отмечая тяготы суровой походной жизни, и в их числе — ограничение в питании, которое русские служилые люди «имеют рыбой и травой, корнем и сосною, а другога припасу хлебного нет и не родитца», предлагал укрепить Удский острог и «развесть хлеб, потому что места теплые и лесу довольно»³. При обсуждении проекта Шестакова Ельчин предложил сеять ссыльные русские люди в районе устья р. Май и Юдомского волока «для пахоты хлебной, понеже хлебу тут можно родитца, севных покосов и всякого угодыя довольно». Он назвал и другие «к хлебородию пристойные места» при Охотске, на Камчатке, вдоль р. Большой, на морских островах и подчеркнул необходимость обзаведения лошадьми и рогатым скотом, что «будет в житейском обхождении и проезде против (здесь: в духе.— Л. Г.) русских обычаев». По принятому в 1727 г. Сенатом решению на экспедицию Шестакова возлагалась задача «завесть» в теплых местах хлеб, для чего следовало получить «ржаного и ярового хлеба на семена... и севом опробовать»⁴. По дороге из Тобольска в Охотск начальник экспедиции отобрал для работы 94 илимских крестьянина.

О результатах земледельческих опытов на Камчатке в сентябре 1728 г. писал капитан-командор Беринг, указывая, что «которые овощи весною были посеяны, а именно: капуста, морковь, свекла, горох — те посели, а ячмень и прежде сего сеют, а рожь посеяли». Он также добавил, что «жели была скотина, то б всеконечно можно хлебу родитца». Казанцев не разделял оптимистических

ячмень проба

Надпись «Ячменю проба», сделанная на конверте с доношением о севе ячменя. В этом конверте хранятся ячменные зерна урожая 1735 г.

прогнозов и в своих «пунктах» рисовал только негативные стороны. В его 28-м пункте, например, отмечалась посылка в 1732 г. из Якутска в Охотский острог нескольких крестьян, которые «в удобное время», избрав «лутчее место, пахали и сеяли рожь». А весной 1733 г. «та рожь вышла и выросла только верхка на полтора, а больше не росла — вся пропала от камня — иззябла». В 35-м пункте Казанцев писал об охотских жителях, что они «прежде сего и ныне живут на рыбе, на ягодах и на кореньях и на привозном из Якуцкого хлебе, а хлеб купят дорогою ценою... А продажной муки тамо нет, купить не сыщешь, для того, что за дальностию и трудным путем не возят...»⁵.

В связи с рассмотрением в различных инстанциях доношений ссыльного морского офицера Сенат потребовал от Сибирского приказа объяснений по поводу действительного состояния земледелия на Северо-Востоке Азии. 24 сентября 1736 г. в приказ поступил рапорт Скорнякова-Писарева. Охотский командир сообщал о мерах, принятых им «для севу хлеба и размножения пашни». В 1735 г. при Удском остроге служилыми людьми был «для пробы сеян ячмень, который родился и созрел того лета изрядно и с которого прислано к нему на пробу и послано в Сибирский приказ». Полученную «пробу ячменя», вселившую «надежду, что при Удском остроге и ржаной хлеб родится и созревать будет», Сибирский приказ, в свою очередь, выслал при дознании 12 октября 1736 г. в Сенат⁶. К этому документу прилагался запечатанный конверт

(6,5×6,5 см), на обратной стороне которого хорошо сохранилась неповрежденная красная сургучная гербовая печать Сибирского приказа, а на лицевой — надпись: «ячменю проба». Поскольку углы конверта обветшали, можно без труда рассмотреть его содержимое. Почти 250 лет пролежали в многолистной сенатской книге несколько десятков ячменных зерен, присланных с Дальнего Востока в столицу. На вид они хорошо сохранились, полновесны. Случайно, вероятно, сложились благоприятные для сохранности зерен условия (конверт из довольно плотной бумаги, сжатой листами толстого архивного дела, отсутствие притока воздуха, определенный режим влажности и температур в хранилище).

По справке канцелярии Охотского порта, в 1736 г. из Якутской канцелярии в Удский острог «для умножения пашни» были отправлены 12 служилых людей и 10 крестьянских семей, переведенных с р. Лены, и «при них на семена хлеба разных званий 466 пуд 18 фунтов». Новый командир Охотского порта А. Девиер, сменивший Скорнякова-Писарева, обратил внимание на упущения своего предшественника, из которых наиболее существенным оказалось, что «все вышеупомянутые семена и скот оными переведенцами сведены без остатку». Вместе с тем «несколько из упомянутого хлеба и сеяно и примолот являлся, а именно: в одном посеве было ячменю 5 пуд 20 фунтов, уродилось 35 пуд, ярицы посеяно 6 пуд, уродилось 18 пуд»⁷. Таким образом, первые опыты удались, а урожай был соответственно более чем сам-шесть и сам-три.

Сам факт сохранности растений с XVIII в. до наших дней не уникален — известны гербарии XVI в. Однако обнаруженные зерна — немые, но реальные свидетели земледельческой культуры наших предков. Специалистам-ботаникам это дает возможность провести исследование ячменных зерен из Удского острога 1735 г.

² Ефимов А. В. Из истории великих русских географических открытий в Северном Ледовитом и Тихом океанах. XVII — первая половина XVIII в. М., 1950, с. 121.

³ ЦГАДА, ф. 248, кн. 690, л. 245.

⁴ Там же, л. 282.

⁵ Там же, кн. 7312, л. 300.

⁶ Там же, л. 301 и об.

⁷ Там же, кн. 1361, л. 650 об.

Карта палеомагнитных аномалий Мирового океана

А. М. Карасик,
доктор геолого-минералогических наук

Н. А. Сочеванова

Ленинградское отделение Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн АН СССР

Ленинград

В Ленинградском отделении Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн АН СССР составлена карта осей палеомагнитных аномалий Мирового океана масштаба 1:50 000 000. Хотя эта карта охватывает всю Землю, материки на ней показаны в виде белых пятен, а вся нагрузка сосредоточена на акватории Мирового океана; объясняется это тем, что палеомагнитные аномалии приурочены только к океанической коре и никогда не встречаются на коре континентальной.

Исследованиями, выполненными в течение последних двадцати лет, доказано, что аномальность магнитного поля в океане обязана своим возникновением процессу разрастания океанического дна (спредингу)

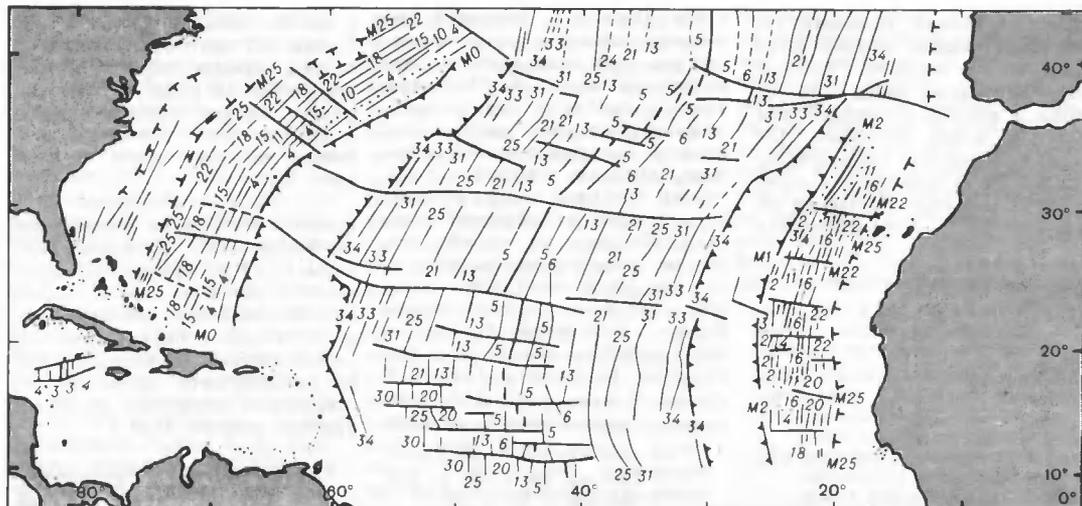
и сменам полярности (инверсиям) главного магнитного поля Земли. Формирующиеся на осях срединно-океанических хребтов источники аномалий — в первую очередь породы базальтового состава — намагничиваются в направлении существующего в это время магнитного поля Земли. Благодаря этому, а также из-за высокой стабильности естественной остаточной намагниченности пород созданные ими аномалии становятся палеомагнитными, т. е. сохраняют информацию о времени и месте своего рождения.

Линейный характер осей спрединга, местами смещенных по трансформным разломам, предопределяет линейную структуру аномалий магнитного поля на большей части площади Мирового океана. Каждая линейная палеомагнитная аномалия, выделяемая в пределах океана, в принципе, может быть обусловлена одним интервалом полярности соответствующего знака, однако в действитель-

Фрагмент карты осей палеомагнитных аномалий Мирового океана, иллюстрирующий структуру поляной системы палеомагнитных аномалий на примере центральной части Ат-

лантического океана. Самая молодая аномалия (№ 1), приурочена к оси спрединга. По обе стороны от нее расположены более древние аномалии так называемой ламонтской системы; они имеют возрастающие номера от 2 до 34. Затем последовательность линейных аномалий сменяется протяженной зоной спокойного поля, которой в истории инверсий магнитного поля Земли отвечает продолжительный позднемеловой интервал прямой полярности. Далее следует мезозойская система линейных аномалий, имеющая номера от M0 до M15 (в Атлантическом и Индийском океанах) или M29 (в Тихом океане) и сменяющаяся юрской зоной спокойного поля, которой отвечает соответствующий интервал прямой полярности.

-  Осевая аномалия
-  Ось палеомагнитной аномалии и ее номер в ламонтской системе
-  Ось палеомагнитной аномалии и ее номер для мезозойской последовательности
-  Зона разломов
-  Краевая зона спокойного магнитного поля
-  Внутриокеаническая зона спокойного магнитного поля
-  Зона повышенного поля



ности большинство аномалий в качестве своих источников имеет группу интервалов разной полярности, обладающую суммарным эффектом, знак которого соответствует знаку аномалии. Объясняется это тем, что магнитное поле измеряется на том или ином удалении от источников аномалии и магнетометр показывает интегральный эффект группы источников. В одинаковых условиях измерения слияние аномалий наблюдается тем реже (и проявляется тем слабее), чем выше скорость спрединга. Однако в любом случае можно сказать, что каждой аномалии отвечает источник определенного возраста, или, иными словами, палеомагнитные аномалии различаются своим возрастом. На практике они индивидуализируются с помощью общепринятой у морских магнитологов нумерации (см. фрагмент карты). Прослеживая оси линейных аномалий по данным систематических магнитных съемок или маршрутных измерений, можно представить структуру аномального магнитного поля в схематической форме осей, с тем чтобы подчеркнуть в ней геосторическое, и в первую очередь геохронологическое, содержание. Действительно, карта пронумерованных осей палеомагнитных аномалий представляет собой карту линий равного возраста (изохрон) океанического дна. Для перехода от линии аномалии к ее возрасту служит специальная палеомагнитная шкала инверсий геомагнитного поля, при составлении которой использованы результаты интерпретации морских магнитных аномалий, глубоководного бурения, палеомагнитных исследований на образцах континентальных пород.

Карта осей палеомагнитных аномалий, построенная авторами этого сообщения, — не первая карта такого рода. После серии региональных или сугубо схематических глобальных



История инверсий геомагнитного поля, используемая как геохронологическая шкала. Первый столбец — интервалы прямой (черный цвет) и обратной полярности геомагнитного поля. Второй столбец — номера магнитных аномалий. Третий столбец — геохронологическая шкала. История инверсий установлена на основе интерпретации магнитных аномалий Мирового океана.

сводок американские геофизики Р. Ларсон, У. Питман и Э. Херрон составили в 1974 г. первую полноценную карту осей линейных аномалий Мирового океана, которая основывалась на 46 оригинальных источниках материалов. Наша карта готовилась в 1979—1982 гг. и за это время постоянно пополнялась новыми материалами, так что в своем нынешнем виде она использует 165 источников, отечественных и зарубежных. От американской карты 1974 г. ее отличают не только большая полнота данных, но и то, что на ней показаны зоны спокойного (безаномального) поля, а также зоны интенсивного поля, предположительно обусловленные повышенным содержанием сильномагнитного титаномагнетита в базальтах океанического дна. Наконец, на карте помещена врезка, где показаны, преимущественно по данным советских исследований, все уверенно выделяемые оси палеомагнитных аномалий в Арктическом бассейне.

Благодаря тому что на карте среди палеомагнитных аномалий показаны осевая аномалия, трансформные разломы и палеосевые аномалии, характеризующие положение и возраст осей спрединга в момент его прекращения, карта позволяет судить о прошлой и современной конфигурации литосферных плит в пределах океана. Кроме того, на карте четко ограничены области, в пределах которых безусловно существует океаническая кора.

Предполагается, что карта будет включена в международные геолого-геофизические атласы Атлантического и Тихого океанов, которые в настоящее время составляются по решению Межправительственной океанографической комиссии при ЮНЕСКО.

¹ См., напр.: Сузюмов А. Е. Магнитная стратиграфия палеогена.— Природа, 1983, № 5, с. 114. См. также: Спрединг и полюсовые магнитные аномалии в океанах.— Природа, 1983, № 7, с. 116.

Лозоискательство без мистики

Ю. И. Иориш, Б. В. Туробов



Юлий Иосифович Иориш, доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник Научно-исследовательского института интроскопии Министерства приборостроения, автоматизации и систем управления СССР. Область научных интересов — физика колебаний. Автор ряда монографий по прикладной теории колебаний, в том числе: Виброметрия. М., 1963.



Борис Валентинович Туробов, старший научный сотрудник того же института. Основные научные интересы относятся к измерительной технике. В последнее время занимается измерением параметров низкочастотных колебаний.

Издавна широко распространено мнение, что при помощи лозы или проводочной рамки можно обнаружить различные руды, скрытые источники воды, карстовые образования, нефть, трещины, подземные коммуникации и пр. Рамка, находящаяся в руке оператора, будто бы сигнализирует своим поворотом о приближении к искомым объектам. Проведение такого рода поиска получило название лозоискательства, а иногда биолокации или биофизического эффекта.¹

¹ Лозоискательство породило обширную литературу. Подробная библиография содержится в работах: Валдманис Я. Я., Долацис Я. А., Калнинь Т. К. Лозоходство — вековая загадка. Рига, 1979; Bird Ch. The divining hand. N. Y., 1979.

Разнородность сфер использования этого явления на протяжении веков удивляла и ставила в тупик всех исследователей, пытавшихся найти ему какие-то объяснения. А так как строгость результатов представлялась сомнительной из-за плохой повторяемости опытов, то серьезные ученые стали сомневаться в реальности лозоискательских методов и утратили интерес к этой проблеме.

Постепенно лозоискательство перешло в область парапсихологии², где оно явилось неисчерпаемым источником «научных открытий» и новых приложений. Это и изме-

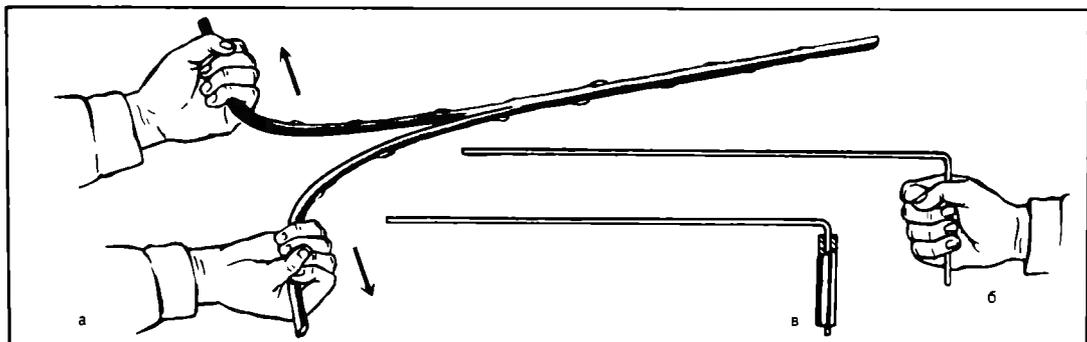
² Зинченко В. П., Леонтьев А. Н., Ломов Б. Ф., Лурия А. Р. — Вопр. философии, 1973, № 9, с. 128.

рение интенсивности «биополя» человека (как непосредственно, так и по фотографии), и медицинская диагностика, и поиск ископаемых по карте, и взятие пеленга на корабле, находящиеся за горизонтом, и т. п.

Что же касается научного подхода, то, несмотря на многие попытки, так и не удалось хотя бы в общих чертах наметить удовлетворительные объяснения. Правда, появилось предположение, что если лозоискательство существует, то загадочное действие объектов поиска производится не

ты, заканчивающиеся вроде бы реальным обнаружением новых водных источников, неизвестных залежей руд и подземных пустот. Однако не было и нет стопроцентной уверенности, что эти успехи достигаются одними только методами лозоискательства. В связи с такими работами постоянно появляются противоречивые и весьма категоричные публикации как за, так и против лозоискательства⁴.

Читатели остаются при этом в недоумении — как же получается, что в достигшей столь впечатляющих успехов науке



Существуют различные виды материального оснащения лозоискателя. [Подробнее об этом см.: Матвеев В. С. — Известия АН КазССР, сер. геол., 1967, № 3, с. 76 и сноску 1.] Это может быть лоза в виде длинной рогатки, растягиваемой в разные стороны (а), различные палочки и проволочные рамки, в том числе с постоянным подкручиванием, колеблющийся маятник и т. д. Проще всего для анализа движения проволочной Г-образной рамки, которую держат на вытянутой вперед руке за короткий конец — свободно в кулаке (б) или через металлическую трубочку (в).

на саму рамку, а на организм оператора. Высказывалось также мнение, согласно которому поворот рамки — это всего лишь следствие каких-то произвольных движений оператора и может быть вообще не связан с объектом поиска³. Кроме того, известно несколько вариантов наивной гипотезы парапсихологического толка о восприятии лозоискателем некоего «всеобщего надфизического волнового излучения», будто бы присущего всем телам.

Справедливости ради необходимо сказать, что энтузиасты лозоискательства проводили и проводят практические рабо-

ХХ столетия осталось своего рода белое пятно — лозоискательство? Почему до сих пор нет определенного ответа на, казалось бы, не очень сложный, но волнующий вопрос? Если лозоискательство действительно, то какую громадную пользу могло бы извлечь из него человечество! А если это только суеверие, лженаука и шарлатанство, то нет разве средств, чтобы покончить с ним? Постоянное возвращение к этим вопросам послужило причиной постановки работы, порученной авторам. Из дальнейшего будет видно, однако, что такая прямолинейность вопросов не вполне адекватна проблеме.

Авторы относились к лозоискательству скептически и, прежде всего, попробовали сами освоить лозоискательские методы.

К большому удивлению оказалось, что рамка действительно может поворачиваться произвольно, например, при проходе под линией электропередачи. Можно было бы приписать этот эффект действию электромагнитного поля, но рам-

⁴ См., напр.: Шмидт Н. Г., Еремеев А. Н., Соловов А. П. Существует ли биофизический метод поисков рудных месторождений? — Геол. рудных месторожд., 1975, № 5, с. 88; Бакиров А. Г., Малахов А. А. и др. Да, биофизический эффект существует. — Там же, 1976, № 4, с. 116.

³ Прокоп О. О волшебном желе. — В кн.: Медицинский оккультизм. М., 1971, с. 64.

ка таким же образом поворачивалась и под мостом, и даже в дверном проеме деревянного дома.

Авторы находили предметы, спрятанные сослуживцами. В их присутствии рамка четко поворачивалась около тайника.

Несколько раз авторы наблюдали работу лозоискателей на местности и участвовали в поисках залежей полезных ископаемых, проводившихся геологоразведочной организацией. Научная строгость этих работ оставляет желать лучшего, и достоверность результатов не вполне ясна. Вместе с тем налицо некоторая повторяемость результатов, полученных разными лозоискателями.

В итоге у авторов сложилось мнение, что какие-то эффекты «лозоискательского характера» действительно существуют. Однако без хотя бы гипотетической, но научной трактовки этих странных и неоднородных явлений в едином комплексе представлений трудно было рассчитывать на признание объективности произведенных наблюдений.

ОСНОВНАЯ ИДЕЯ

В результате перебора и классификации большого числа индивидуальных признаков и общих черт авторы пришли к выводу, что во всех разнообразных случаях лозоискательства действует один и тот же своеобразный способ восприятия и индикации совершенно различных окружающих объектов и разнохарактерных событий. Он основан на развитии приторможенного идеомоторного акта⁵ под действием

некоторого физического сигнала, согласно выработанной фиксированной установке⁶.

Так, если сосредоточить взгляд на конце рамки и мысленно представить себе ее поворот по или против часовой стрелки, то рамка действительно начнет поворачиваться благодаря почти неуловимому глазом произвольному наклону кисти, всей руки и корпуса. Этим движением можно управлять за счет обратной связи⁷. Оператор способен не только вызвать движение рамки, но и затормозить его, включив соответствующую группу мышц, осуществляющих отрицательную обратную связь. Используя эту возможность, оператор и подправляет рамку, поддерживая ее первоначальную ориентацию вперед по ходу.

Кисть с рамкой оказывается в положении неустойчивого равновесия, а сам оператор должен быть очень сосредоточен и напряжен, чтобы это равновесие поддерживать.

Когда оператор, находясь в таком состоянии «активной готовности», воспринимает сигнал, переключающий его внимание, возникает рассогласование поступающих нервных импульсов, управляющих мышцами кисти, она незаметно наклоняется и рамка поворачивается. Обычно, если рамка находится в правой руке, то она поворачивается против часовой стрелки. Но иногда рамка поворачивается в противоположную сторону, что подтверждает возможность конкуренции и срыва равновесия.

Теперь вступает в игру еще один удивительный эффект — выборочная настройка, связанная с фиксированной психологической установкой. Если оператор настроен

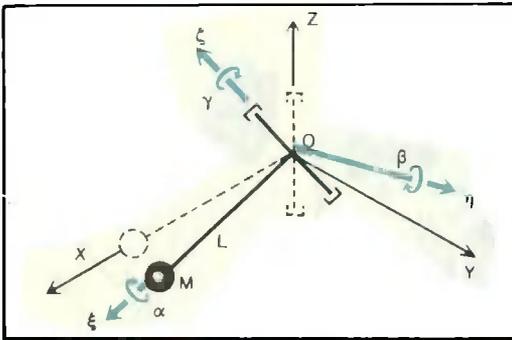
⁵ Идеомоторными называют движения, вызванные бессознательной реакцией на одно лишь мысленное представление о движении. Примером могут служить колебания шарика, подвешенного на нитке, которую держат перед собой за другой конец пальцами. Достаточно, сосредоточив взгляд на шарике, подумать о его движении, как через некоторое время он начнет колебаться. Таким образом можно вызвать колебания в направлении вперед — назад, влево — вправо либо враждебное движение по или против часовой стрелки. Некоторым людям требуется предварительная тренировка с сознательным раскачиванием пальцами. Под идеомоторным актом понимают не только собственно движение, но и напряжение соответствующих мышц и даже просто передачу нервных импульсов, адресованных этим мышцам при представлении о движении. Подробнее см., напр.: Агаян Г. Ц. Идеомоторный акт. — Большая медицинская энциклопедия. Изд. 3-е. М., 1978, т. 9, с. 29.

⁶ Установка — готовность человека к определенной активности, участию в некотором процессе, реакции на знакомые стимулы или ситуации. Так, человек движется по лестнице бессознательно, не глядя на ступеньки, но, если хотя бы одна из них отлична по высоте от остальных, может оступиться. В психологии установка X рассматривается как реальный элемент цепи $S \rightarrow X \rightarrow R$, где S — стимул и R — реакция организма. При этом X включает оценку действия, общий прошлый опыт, образ, план и программу. Так называемые фиксированные установки, отражающие конкретный опыт человека, иногда подирепленные упражнениями вплоть до выработки автоматизма, могут быть бессознательной ступенью регуляции поведения. Подробнее об этом см.: Пранг и швили А. С. Исследования по психологии установки. Тбилиси, 1967; Бжвава И. Т. Вопр. психологии, 1968, № 5, с. 33.

⁷ Горячева Т. Г., Капустин С. А. — Психол. ж., 1984, т. 5, № 1, с. 74.

отметить, скажем, прохождение дверного проема, то рамка повернется именно в этот момент, а восприятие информации, относящейся к другим объектам и событиям, будет ослаблено. После некоторой тренировки оператор может совсем не обращать внимания на проем — но во время его прохождения выработанная установка все равно подействует, так что оператор бессознательно отметит этот момент, и рамка произвольно повернется.

Вот такая бессознательная реакция на различные, но вполне реальные физиче-



Г-образная рамка в руке лозоискателя эквивалентна горизонтальному маятнику с массой M , сосредоточенной в центре инерции на расстоянии L от шарнира O . Ее движение описывается углами поворота относительно осей ξ , η и ζ подвижной системы координат, в исходном положении совпадающей с неподвижной декартовой прямоугольной системой координат XYZ , ось X которой направлена по ходу лозоискателя. Эти углы (α — крен относительно оси ξ , β — тангаж относительно оси η и γ — поворот в шарнире вокруг оси ζ) зависят от времени, и в общем виде уравнение движения рамки довольно сложно. Но при неизменных значениях α и β результирующий угол поворота определяется простым соотношением

$$\operatorname{tg} \gamma = -\sin \alpha / \operatorname{tg} \beta,$$

не зависящим от параметров рамки. В частности, если рамка расположена горизонтально ($\beta=0$), то от малейшего наклона в сторону происходит «опрокидывание» ($\gamma = \pm \pi/2$). Любые отклонения от этого закона свидетельствуют лишь о том, что рамка ориентирована негоризонтально. А «надфизические» поля, на которые любят ссылаться лозоискатели, здесь совершенно ни при чем,

ские сигналы, связанные с объектами поиска, и лежит, по-видимому, в основе лозоискательских эффектов. Их оказалось удобно разделить на шесть групп: четыре основные — А, В, С, D и две дополнительные — φ и ψ .

РАМКА В РОЛИ «УКАЗКИ»

К группе А отнесены случаи срыва равновесия в результате одного только мы-

сленного представления о движении рамки, без участия какого-либо внешнего сигнала.

Пусть, например, кто-нибудь из присутствующих при опыте спрашивает: «Где здесь телефон?» Телефонный аппарат открыт, его все видят, но когда рамка или даже одновременно две рамки, находящиеся в обеих руках оператора, как бы сами собой поворачиваются и останавливаются, точно указывая на аппарат, это производит на окружающих известное впечатление в пользу возможностей лозоискательства.

Конечно же, подобные эффекты к собственно поиску отношения не имеют. Они выделены в самостоятельную группу лишь потому, что идеомоторный акт, регулируемый обратными связями, проявляется здесь наиболее наглядно, наблюдается непосредственно и может быть исследован проще, чем в других случаях.

ЗАЛОГ УСПЕХА — ТРЕНИРОВАННОСТЬ

Обратимся к группе В. Пусть оператор знает, где находится объект (скажем, видит его), и движется к нему.

Максимально усиливая состояние «активной готовности» по мере приближения к объекту-ориентир, оператор, проходя возле него, произвольно допускает срыв поддерживаемого равновесия, в результате чего рамка поворачивается (не обязательно в направлении объекта — она может даже опрокинуться на 180°).

Если в процессе тренировки оператор выработал способность отмечать поворотом рамки прохождение того же дверного проема, то она точно так же может повернуться и когда оператор перешагивает через рельс или ручей, проходит под линией электропередачи или мимо колонны, столба, вообще мимо любого выделяющегося ориентира, хотя бы яркой ленточки на его пути.

При этом наблюдаются следующие особенности.

1. Выработанная фиксированная установка на какой-либо ориентир весьма устойчива и распространяется (как говорят психологи — «иррадирует») также на его непосредственное окружение. Так, если переложить упомянутую ленточку на новое место, то рамка будет поворачиваться не только над ленточкой, но некоторое время над тем местом, где она лежала раньше.

2. Если какой-нибудь случайным поворот рамки оказывается значительным, то оператор бессознательно отмечает соответствующую точку пути, и впоследствии

рамка может поворачиваться на том же месте.

3. Поворот рамки может быть соотнесен не только с точкой пространства, но и с моментом прихода сигнала. При соответствующей установке и после некоторой тренировки рамка поворачивается в ответ на ожидаемую световую вспышку, звонок, пуск или остановку при движении оператора в лифте и т. д.

Лозоискатели «с парапсихологическим уклоном» апеллируют к этим эффектам, якобы доказывающим объективное существование и действенность лозоискательства, используют их для рекламы и демонстрации своих способностей. При этом первую особенность они объясняют взаимодействием «биополя» оператора с остатками собственного «специфического поля» объекта. Они даже растирают ногой место, на котором лежал объект, чтобы уничтожить остатки этого поля. На самом деле, такое активное физическое действие просто способствует разрушению создавшейся психологической установки. Вторую особенность они пытаются связать с обнаружением различных «аномалий пространства», сезонными и суточными вариациями эфемерных полей и т. п.

Основной смысл выделения группы В в том, что отнесенные к ней эффекты явно вызваны внешними физическими сигналами различного происхождения, приводящими к той же бессознательной реакции оператора.

Описанные здесь и далее эксперименты каждый может проверить на себе. Однако, чтобы эти психологические опыты были удачными, необходимо выработать максимальную раскрепощенность и непреклонную веру в успех. Поэтому на начальных этапах тренировки следует «помогать» рамке сознательным наклоном кисти. Напротив, активное противодействие препятствует нормальному течению эксперимента: наивно думать, что рамка повернется, если ее изо всех сил захватить в кулаке. Длительность тренировки весьма индивидуальна: от нескольких пробных ходов до 2—3 дней активной работы.

ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ИНДУКТОРОМ

Для следующего класса явлений, сведенных в группу С, характерно то, что оператор не знает, где размещен объект поиска, но это известно одному или нескольким лицам, присутствующим при эксперименте. Эти лица — индукторы — могут быть удалены от области поиска на несколь-

ко шагов (могут находиться даже в глубокой тени) и не обмениваются на сознательном уровне с оператором-перцепиентом никакой информацией.

Один из вариантов опытов, проводившихся авторами, выглядел следующим образом.

Оператор уходит из помещения, а индуктор вытягивает наугад один из трех билетиков с номером и кладет на тумбочку с таким же номером кусок свинца под непрозрачный колпак или коробку. После этого на все три коробки укладывают кар-

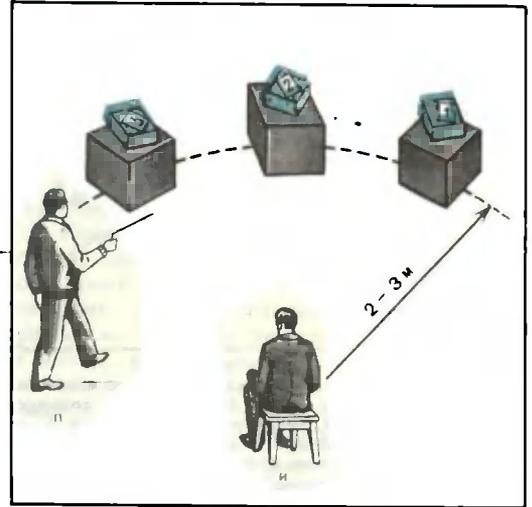


Схема эксперимента по поиску скрытых предметов. Объект поиска — кусок свинца массой около 0,5 кг укладывался на одну из трех тумбочек под картонную коробку с номером. Индуктор (И) располагался на таком расстоянии, чтобы можно было одновременно держать в поле зрения все тумбочки и перемещающегося оператора-перцепиента (О), не поворачивая головы или корпуса.

точки с номерами. Если опыты в этот день уже проводились, то коробки и карточки немного поворачивают и передвигают. Билетики с номерами тасуют и убирают в сторону.

Индуктор садится на свое место, вызывает оператора и принимает практически неподвижное рабочее положение: голова прямо, взгляд направлен вперед вверх, наблюдение за оператором лишь «краем глаза».

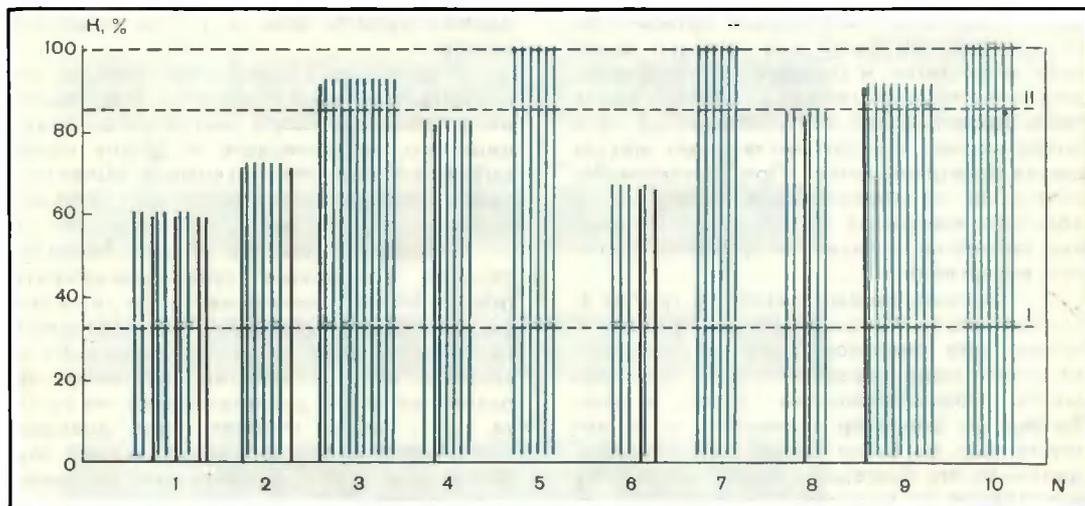
Оператор с Г-образной рамкой в руке в течение 20—30 секунд настраивается психологически, принимая состояние «активной готовности» и начинает медленно ходить около тумбочек. При этом рамка слег-

ка поворачивается случайным образом. Однако после нескольких проходов оператор замечает, что около одной из тумбочек рамка отклоняется более определенно.

Проведенные эксперименты дали в среднем высокий процент успешных поисков, значительно превосходящий результаты стандартных вероятностных оценок.

Однако результаты заметно ухудшались, если индуктор садился спиной к оператору или находился за фанерным экраном (даже в том случае, когда в нем имелась прорезь для глаз, прикрытая спе-

Общее число таких модифицированных опытов (около 30) было недостаточно для объективных статистических оценок. Но из них следует, что в определенных условиях успех поисков связан только с передачей информации от индуктора к оператору. Чтобы окончательно убедиться в этом, в некоторых экспериментах свинец в тайники вообще не закладывали (он был совсем убран из помещения), а индуктор только запоминал вытянутый в отсутствие оператора номер билетика. Во избежание ошибок индуктор брал его на рабочее ме-



Результаты поиска скрытых предметов с участием индуктора. На рисунке представлены данные 10 серий экспериментов по 6—11 опытов в каждой. Сюда не входит значительное число предварительных экспериментов, проведенных для отработки стандартной методики и выбора постоянной пары оператора и индуктора. N — номер серии; K — отношение числа успешных опытов [цветные линии] ко всему их числу в серии; прямая (I) соответствует значению $K_p = 33,3\%$, характерному для вероятности обычного угадывания местонахождения объекта поиска в одном из трех тайников; прямая (II) — уровню $K_p = 84,2\%$, полученному в среднем для всех экспериментов — в проведенных 76 стандартных опытах успешными оказались 64, а в отдельных сериях процент успешных опытов достигал 100.

циальной пленкой, позволявшей видеть оператора, а самому оставаться невидимым). Результаты явно ухудшались и в тех случаях, когда свинец укладывался в тайник в отсутствие индуктора и оператора третьим лицом, уходившим из помещения на время поиска без встречи с другими участниками опыта.

сто и держал в кармане, пока вернувшийся в помещение оператор занимался поиском. Результаты подобных экспериментов оказались весьма красноречивы — рамка поворачивалась возле тумбочки с «нужным» номером на коробке точно так же, как если бы в ней был свинец: из 21 проведенного опыта 17 увенчались успехом.

Определение механизма передачи информации не входило в задачи авторов. Что же касается ее содержания, то оно предельно просто — «Стоп, здесь!»

Таким образом удалось выяснить, что в некоторых условиях индуктор помогает обнаружить объект, а без индуктора опыт может не получаться. Стало быть, возможное влияние индуктора необходимо учитывать во всех случаях, когда лозоискательство приводит к видимому успеху.

В связи с этим большое число частных примеров лозоискательства, которым энтузиасты-лозоискатели придают огромное значение, приобретают совершенно другую окраску. Действительно, помимо уже рассмотренного поиска различных

предметов, спрятанных одним или несколькими лицами, участвующими в эксперименте, сюда же относится и обнаружение любого предмета на человеке или в его вещах. Этот человек сам невольно играет роль индуктора и подает сигнал, когда рука оператора с рамкой оказывается вблизи спрятанного объекта.

Нельзя не упомянуть и о «диагностике» — целом направлении лозоискательства. Оператор заранее объявляет, что он в состоянии указать участки, подвергшиеся оперативному вмешательству, либо недостатки на теле человека под одеждой и даже заболевшие внутренние органы. Поскольку обследуемый как правило знает свои недостатки и болезни, то оператор, медленно перемещая руку с рамкой вдоль тела, воспринимает поступающую от него информацию, и в соответствующих местах рамка поворачивается. При достаточном внимании, эрудированности, фантазии и ловкости оператора подобная «диагностика» способна произвести довольно сильное впечатление.

Конечно, рассмотренные в группе С случаи нельзя считать чисто лозоискательскими, ибо оператор получает сведения от своего рода информатора. Однако элементы лозоискательства здесь налицо. Во-первых, оператор указывает место, которое ему не было известно. Во-вторых, делает он это благодаря бессознательному восприятию от индуктора некоторого сигнала, вызывающего расторможение идеомоторного акта, которое завершается произвольным вращением рамки.

СОБСТВЕННО ЛОЗОИСКАТЕЛЬСТВО

В случаях, отнесенных к группе D, никому не известно, где именно находится объект поиска, и нет никаких сознательно воспринимаемых данных, которые, будучи использованы порознь или в совокупности, могли бы способствовать объективному целеуказанию. В общем случае неизвестно даже, расположен ли объект в районе поиска. Практически к этой группе принадлежит только классическое лозоискательство, т. е. обнаружение геофизических аномалий: залежей полезных ископаемых, подпочвенных вод, пустот и т. п.

Объяснение такого лозоискательского акта могло бы выглядеть следующим образом.

Приступая к поиску, оператор принимает состояние «активной готовности» с сознательной установкой на поиск объекта определенного качества. Однако бессозна-

тельно установка распространяется и на восприятие характерных физических сигналов, связанных с объектом. На сознательном уровне оператор может и не подозревать о существовании этой связи. Восприятие подобных сигналов происходит бессознательно, зависит от индивидуальных способностей оператора и шлифуется с опытом. Следовательно, если объект скрыт (не обнаруживается органами чувств сознательно), но оператор воспринял какой-нибудь связанный с объектом характерный сигнал бессознательно, то возможен срыв равновесной заторможенности идеомоторного акта и рамка поворачивается.

Таковыми сигналами, по-видимому, могут быть локальные искажения гравитационного, электрического, магнитного, радиационного, акустического и других полей, вызванные наличием искомого объекта, а также связанные с ним различные прямые и отраженные излучения, испарения и т. д.

Сюда же следует отнести бессознательное восприятие признаков-ориентиров, таких как рельеф местности, вид почвы, ее влажность, наличие и состав растительного покрова, запахи, концентрация насекомых и т. п. Известно, например, что различные сорта растительности, ее густота, цвет, наклон стеблей и пр. довольно точно характеризуют распределение подпочвенных вод. Тренированный лозоискатель, «наткнувшись» на такой признак, воспринимает его бессознательно, и, если им заранее принята установка на обнаружение воды, рамка в его руке может повернуться. По-видимому, здесь происходит смыкание с эффектами, отнесенными к группе B, и лозоискатель может работать на грани между сознательным и бессознательным восприятием этих признаков.

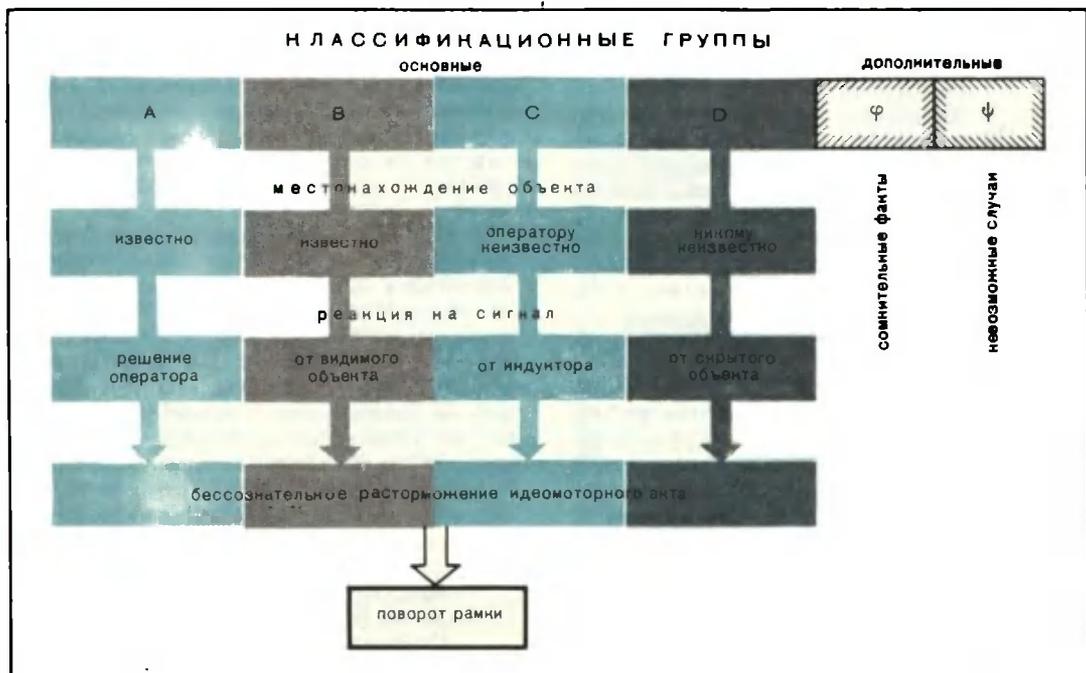
В действительности не существует какой-то одной изначальной причины поворота рамки в руках оператора. Таких причин великое множество. Важно только, повторим это еще раз, чтобы в зависимости от физической природы объекта поиска, условий и обстоятельства тот или иной сигнал о наличии объекта мог быть воспринят оператором, находящимся в состоянии «активной готовности», как спусковой: даже незначительного изменения состояния оператора или просто переключения внимания достаточно для реакции — торможение идеомоторного акта срывается и рамка поворачивается.

Таким образом, снимается и извечный вопрос: за счет какой энергии, отнюдь не малой, происходит поворот рамки? Из ска-

занного ясно, что это энергия самого оператора, а внешний сигнал лишь вызывает срабатывание сложного психофизиологического механизма, приводящее к наклону кисти с рамкой.

Мы не имеем возможности останавливаться здесь на функционировании всех инструментов лозоискателей — выщелкивающей лозы, подкручиваемой рамки, колеблющегося маятника и др. Принцип их действия тот же, что и в случае Г-образной рамки. Известны операторы, которые вызывают состояние «активной готовности на-

массой 80 кг с силой около $0,02 \text{ Н} \approx 2 \text{ Г}$. Разумеется, в реальных условиях имеют дело с избыточной плотностью, вопрос усложняется, и вариации поля могут оказаться еще меньше. Во всех случаях, однако, возникающие изменения сил, отнесенные к весу человека, вовсе не исчезающе малы, как иногда ошибочно полагают. Известно также, что пороговое значение ускорения, которое еще сознательно воспринимает пассажир самолета, составляет около 10^{-1} м/с^2 . Это соответствует изменению его веса на $8 \text{ Н} \approx 800 \text{ Г}$.



Классификация различных случаев лозоискательства.

пряжением руки без рамки. В критических точках оператор испытывает как бы облегчение руки или «холодок».

ОЦЕНКИ И ДОКАЗАТЕЛЬНОСТЬ

Если иметь в виду обнаружение геофизических аномалий, то многие из них связаны с локальными искажениями напряженности гравитационного поля. В этом случае возможны количественные оценки.

Нетрудно показать, что моделирующий небольшую аномалию уединенный железный шар радиусом 100 м, притягивает вблизи своей поверхности тело человека

Прямо скажем, чувствительность не слишком высокая. Она на порядок хуже чувствительности даже грубых акселерометров и гравиметров... Правда, измерения в самолете производились со случайными участниками при шуме, вибрации и общей напряженности, связанной с полетом. Для тренированного же лозоискателя в спокойных условиях на уровне бессознательного чувствительность должна быть значительно выше. Кроме того, восприятие зависит не столько от ускорения, сколько от его производной по времени, так называемой резкости⁸. Это означает, что чувствительность

⁸ Деревянко Е. А., Мильников В. Г. — Вопр. психологии, 1964, № 3, с. 131.

движущегося лозоискателя может намного возрасти вблизи четких очертаний аномалий, крутых разломов и т. п.

Таким образом, влияние гравитационного поля исключить нельзя, особенно в случае подземных пустот или трещин. Но более вероятно совместное действие сигналов различной природы, благодаря чему при выработке необходимой устойчивости становится возможной дифференциация объектов поиска различного качества.

Разумеется, выяснить, существует ли классическое лозоискательство и какова физическая природа действующих при этом сигналов, можно было бы с помощью соответствующих экспериментов.

Здесь, однако, возникают трудности едва ли не принципиального характера.

Прежде всего, лозоискательство — дело ненадежное. Идеомоторный акт у людей протекает по-разному. Даже у одного и того же человека то сильно и четко, а то — едва заметно. Как тут снимать характеристики, определять функциональные зависимости, порог чувствительности, если все изменится прямо на глазах?

Кроме того, физическая природа сигнала, вызывающего расторможение идеомоторного акта, может быть различной, но при проведении экспериментов ее необходимо знать, так же как и особенности физических полей, присущих человеческому организму, их взаимодействие с окружающей средой и т. д. Систематические исследования такого рода еще только начинают развиваться⁹.

Конечно, можно попытаться, как говорится, не мудрствуя лукаво, «что-то» закопать или спрятать и предложить лозоискателю найти. Казалось бы, чего проще? Но, оказывается, не так-то легко правильно спрятать объект поиска с тем, чтобы иметь дело с «чистым» лозоискательством (группа D), без Э-эффектов, отнесенных к группам В или С.

Действительно, любой признак, вроде малозаметных следов на тайнике, может послужить сознательно воспринимаемым ориентиром, как в группе В. А если кто-нибудь знает, где спрятан объект, всегда найдутся скептики, которые при успехе поиска возразят, что он, мол, достигнут благодаря помощи индуктора, как в случаях, рассмотренных в группе С. Эксперименты, претендующие на доказательность, должны быть поставлены так, чтобы их научная стро-

гость не вызывала сомнений. Поэтому ни одна живая душа на свете не должна знать заранее, где расположен объект поиска и когда поиск производится. Но как это сделать, если речь идет не о килограммовой железяке, а о достаточно солидном предмете, влияние которого на лозоискателя сравнимо с действием хотя бы скромной геофизической аномалии?

Лабораторные исследования, скорее всего, малоэффективны. В частности, трудно создать заметные целенаправленные искажения гравитационного поля при наличии больших масс окружающих строительных конструкций. Поэтому, едва ли можно обойтись без разработки и постройки крупных имитационных испытательных стендов, станций и полигонов. А чтобы избежать любых посторонних влияний, все объекты поиска должны перемещаться без участия человека, автоматически, по программе, задаваемой датчиком случайных команд.

Да и как однозначно интерпретировать результаты? Если, например, поручить лозоискателю установить положение железнодорожной платформы, нагруженной свинцом, и перемещаемой за сплошным забором, то при отсутствии реакции лозоискателя всегда можно сказать, что платформа была загружена недостаточно. В случае же успеха возникнут десятки подозрений, что он достигнут независимо от лозоискательства, например благодаря улавливанию на уровне сознания изменения гулкости шагов вблизи платформы, оседания почвы, запаха смазки колес и т. д.

Все это очень сложно и требует неоправданно больших затрат.

Конечно, особенно показательны были бы натурные испытания — поиски новых, ранее не разведанных аномалий. Однако трудностей в организации и проведении таких работ тоже предостаточно, а соблюдение научной строгости при участии профессиональных лозоискателей оказывается чуть ли не невозможным, так что любой результат — положительный или отрицательный — неизбежно попадает под обоснованный обстрел сторонников противоположных взглядов. Такие примеры хорошо известны¹⁰.

Трезво взвесив все сложности строгой научной проверки и сопоставив их с возможным практическим выходом, авторы считают, что в настоящее время развертывание широких исследований в этой области вряд ли целесообразно, несмотря

⁹ Гуляев Ю. В., Годик Э. Э. — Вестник АН СССР, 1983, № 8, с. 118.

¹⁰ См., напр., сноску 4.

на бесспорный ее интерес. Здесь, пожалуй, следует обратиться к известному афоризму: «Наука — это средство удовлетворения любопытства за казенный счет», в котором, как и в каждой шутке, есть доля правды.

Однако прямые эксперименты — не единственный аргумент для серьезных заключений.

В излагаемой концепции четыре основные группы логически взаимосвязаны, и эта взаимосвязь такова, что даже если бы о группе D вовсе ничего не было известно, то можно было бы высказать предположение о ее возможном существовании.

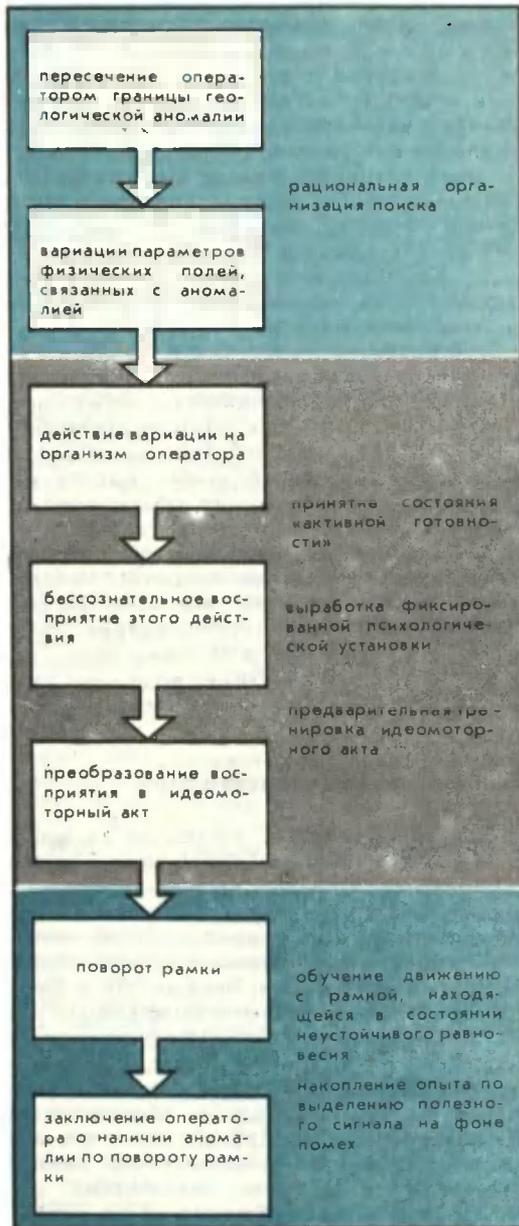
Поиск геологической аномалии, согласно этой концепции, можно представить в виде своего рода информационной цепи, каждое из звеньев которой реально существует и связано с другими (см. табл.).

Правда, остается вопрос, достаточна ли интенсивность воспринимаемого физического сигнала для срыва динамического равновесия приторможенного идеомоторного акта? Но это уже вопрос количественный, переводящий исследования от выяснения принципов к возможностям практики. Конечно, в настоящее время еще нельзя сказать, для каких аномалий лозоискательство могло бы оказаться действенным, а для каких — нет. В связи с этим уместно привести мнение некоторых лозоискателей-практиков о том, что поиск мелких предметов затруднителен и не дает определенных результатов.

Из приведенного выше сопоставления чувствительности современных гравиметрических приборов со способностью человеческого организма ощущать ускорение и резкость видно, что человек, в принципе, может воспринимать весьма слабые сигналы, особенно на уровне бессознательного.

Многовековая, но несовершенная практика лозоискательства вызвала недоверие в значительной мере потому, что не поддавалась научному объяснению, не укладывалась без серьезных противоречий и возражений ни в какие теоретические рамки. Теперь же непротиворечивое объяснение вроде бы сформулировано.

Необходимо, однако, ясно понимать, что несовершенство метода порождает неуверенность в результатах экспериментов и ее трудно отделить от сомнений принципиального характера. Так что сама по себе лозоискательская практика не может заменить строгих научных исследований.



Информационная цель событий при лозоискательстве и условия ее действенности.

ФАНТАСТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Нам осталось рассмотреть дополнительные группы ф и ψ. Первая из них охватывает научные нестрогости, некомпетентность и домыслы, как скажем, сообщению о фантастической способности брать

пеленг на невидимые корабли, находящиеся в 40 км (1) от лозоискателя¹.

К группе ψ отнесены явные нелепости, недобросовестность, ловкость рук, различные виды колдовства. Например, определение при помощи рамки по плану квартиры, в которой оператор никогда не был, участков, якобы опасных для проживания, идентификация фотографий пришельцев из других миров и пр.

От апологетов лозоискательства можно услышать возражение, будто абсурдность такого рода притязаний относительна, что человек постепенно смирился со многими открытиями, которые поначалу казались противоречащими здравому смыслу. Несостоятельность этого возражения в том, что здесь недостоверны сами факты, так что в настоящее время просто нет оснований для серьезного обсуждения таких «открытий».

К группе ψ следует отнести и случаи плутовства, когда оператор находит объект или определяет его качество (например, подлинность произведения искусства) по известным ему признакам, но, играя на публике, вызывает вращение рамки сознательным наклоном кисти.

О ПРАКТИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ

Неспециалисты, ратующие за широкое внедрение лозоискательских методов в практику, большей частью плохо осведомлены об актуальных задачах геологической разведки, о высоких требованиях в отношении ее глубины, точности, разрешающей способности, надежности и быстродействия применяемой аппаратуры и т. п. Поэтому развитие лозоискательства как направления, конкурирующего с надежными и весьма совершенными современными геофизическими методами, абсолютно неперспективно и способно только отвлечь силы от решения действительно важных задач. Использование технических устройств для усовершенствования или частичной замены лозоискательских действий человека также нереально — сегодня мы еще очень далеки от познания нужных связей между живым организмом и окружающей средой, которые необходимо было бы учитывать при разработке таких гибридных биотехнических устройств, предна-

значенных для решения задач геологической разведки².

Из сказанного не следует, что нужно пренебрегать отдельными удачными техническими решениями, основанными на физиологических и психологических возможностях человека, в том числе применительно к георазведке. В этой области уже сделано несколько изобретений. Точно так же нет оснований отказываться от лозоискательских методов там, где они применяются для решения каких-то частных задач, но при неперемennom условии объективного контроля, обеспечивающего уверенность в полезности производимых работ.

Кроме того, элементы лозоискательства и рамки различных конструкций, по-видимому, можно использовать для получения нетривиальных результатов в экспериментальной психологии.

Подведем итоги. Лозоискательские эффекты весьма разнообразны, но их можно разделить на четыре характерные группы. Три из них довольно легко проверяются экспериментально. Проверка четвертой группы (самой главной, связанной с поиском геофизических аномалий) корректными экспериментами затруднительна.

Во всех случаях практическое использование лозоискательства в настоящее время чрезвычайно ограничено.

Предложенное объяснение возможного механизма лозоискательства, единого для всех групп, не выходит за пределы простых представлений физики, физиологии и общей психологии. В этом смысле лозоискательство может служить примером вычеркивания из парапсихологии раздела, рассмотренного с научных позиций. Уместно заметить, что поскольку для объяснения лозоискательства достаточно известных научных положений, то понятие «биофизический эффект» теряет смысл. Никакого такого самостоятельного явления, по-видимому, не существует.

Дальнейшие научные исследования в этой области, если они будут проводиться, должны быть тесно увязаны с гораздо более общей проблемой — изучением взаимодействия человека и окружающей среды.

Что же касается индивидуальных увлечений «чудесами» лозоискательства, то, конечно, это никому не возбраняется. Только надо сохранять критический образ мышления и не терять... чувства юмора.

¹² О некоторых аспектах биотехнических измерительных систем см.: Иваницкий Г. Р.— Вестник АН СССР, 1984, № 3, с. 118.

¹¹ Техника молодежи, 1983, № 2, с. 48.

Биология

Массовая гибель рифообразующих коралловАкадемик
М. С. Гиляров

Москва

Коралловые рифы — типичные биогенные (образуемые скелетами полипов) геологические образования, формированию которых уделяя специальное внимание еще Ч. Дарвин. Оценивая почвообразующую и геологическую роль дождевых червей, Дарвин отмечал: «Весьма сомнительно, чтобы нашлись еще другие животные, которые в истории земной коры заняли бы столь видное место, как эти низкоорганизованные существа. Правда, некоторые другие, еще более низко организованные животные, именно полипы, проявили бросающуюся в глаза деятельность, создав бесчисленные рифы и острова в обширных океанах, но область их распространения ограничивается тропическим поясом»¹.

Распространение рифообразующих кораллов связано с их приспособленностью к определенным условиям среды. Например, каралловые мадрепоровые полипы (*Madreporaria*) и их спутники гидрокораллы (обладающие мощным известковым скелетом *Milleroga* и *Stylaster*) обитают только в морях с температурой не ниже 20,5 °С. Именно поэтому они распространены в тропиках, а за их пределами — в теплых водах экваториальных течений.

Рифообразующие коралловые полипы питаются различными планктонными организмами, могут потреблять бактерии

и детрит. Известна и их способность усваивать растворенные в воде органические вещества². Однако основной поставщик пищи — это обитающие в их тканях эндосимбиотические водоросли — зооксантеллы³. Водоросли снабжают клетки полипов кислородом, аминокислотами и углеводами, а сами используют выделенную кораллами углекислоту и продукты азотного обмена. Судя по исследованиям двух видов кораллов рода *Pocillopora* Ю. И. Сорокиным, необходимой для обменных процессов энергией, эти кораллы обеспечивают именно за счет зооксантелл.⁴ Даже обычно буроватая окраска рифообразующих коралловых полипов обусловлена также водорослями-симбионтами.

С симбиотическим типом питания связано и распространение живых полипов на небольшой глубине (до 20—30 м), т. е. в слое воды, куда проникает солнечный свет, необходимый для фотосинтеза зооксантелл. Поэтому рифообразующие кораллы «любят» яркое солнечное освещение, а виды, не имеющие зооксантелл (например, из рода *Dendrophyllia*), растут в затененных укрытиях рифов.

Коралловые рифообразующие полипы — организмы, плохо приспособленные к изменению условий обитания (температуры, солености, освещения и т. д.). В частности, они не переносят обилия влзвсей в воде, и потому вблизи речных устьев никогда не бывает рифов. Из-за способности коралловых полипов жить в стабильных условиях коралло-

вые рифы оказались легко ранимыми экосистемами.

При антропогенных нарушениях жизненных условий (загрязнении воды, изменении ее температуры и загрязнении нефтью, пестицидами и т. д.) зооксантеллы выбрасываются из клеток в пищеварительную полость полипа (но не перевариваются в ней), а затем выводятся из нее. Кораллы белеют, перестают расти и отмирают.

К таким же последствиям приводят и не связанные с деятельностью человека изменения условий обитания коралловых полипов.

Весной 1983 г. по обе стороны Панамского перешейка (на площади более 1000 км²) Р. Глиин обнаружил массовое отмирание рифообразующих мадрепоровых кораллов (особенно велика была гибель *Pocillopora* и гидрокораллов *Milleroga*)⁵. Погибшие полипы потеряли свой естественный цвет и обросли крупными водорослями. Поскольку ни какой-либо патогенный организм, ни антропогенное воздействие не были причиной их гибели, С. Филандер и Д. Ресс связывают отмирание рифовых кораллов с необычным передвижением тропических теплых воздушных и водных масс у восточных берегов Тихого океана⁶. Это явление — Эль-Ниньо — привело к погодным аномалиям в центральных и северных районах тихоокеанского побережий и вызвало гибель многих морских организмов⁷. В сентябре 1982 г.

⁵ Glynn P. W.— Environmental conservation, 1983, v. 10, p. 149.

⁶ Philander S. G. H.— Nature, 1983, v. 305, № 5429, p. 16; Reysse D.— Recherche, 1983, v. 14, № 150, p. 1582.

⁷ Федоров К. Н. Этот капризный младенец — Эль-Ниньо! — Природа, 1984, № 8, с. 65.

² Сорокин Ю. И.— Ж. общ. биол., 1977, т. 38, с. 181.

³ Fretter V., Graham A. A Functional Anatomy of Invertebrates. San Francisco, 1976.

⁴ Сорокин Ю. И. Ж. общ. биол., 1980, т. 41, с. 547.

¹ Дарвин Ч. Образование растительного слоя деятельностью дождевых червей. М., 1883, с. 179.

вода вокруг Панамского перешейка прогрелась на 6° выше обычной для рифов, это и стало причиной гибели рифообразующих кораллов.

К катастрофическому разрушению рифов приводит иногда и чрезмерное развитее хищников, поедающих кораллы. В последние десятилетия на больших пространствах в области австралийского Большого Барьерного рифа, островов Гуам, Соломоновых и Фиджи наблюдалось массовое истребление коралловых полипов крупной морской звездой *Acanthaster planci*.

Все это свидетельствует о том, что коралловые полипы, чувствительные к любым изменениям среды обитания, могут легко погибнуть как под действием биотических, так и абиотических факторов.

Почвоведение

«Память» почвы

Е. В. Пономаренко, С. В. Пономаренко

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

Возможно, ни у кого не возникает сомнения, что ровные рядки травы на фотографии — результат посева. Однако фотография сделана на лесной доро-

ге, адали от полей. Рядки травы мятлика лугового (*Poa pratensis*) — одного из самых рекреационноустойчивых видов — результат способности растений реагировать на плотность почвы. При средних значениях плотности почвы на дороге (1,79—1,86 г/см³) мятлик прорасти не может. Но каждое незначительное ее разрыхление используется растением, и в итоге мы наблюдаем разреженный покров мятлика на всей дороге.

Если фактор разрыхления пространственно упорядочен (в нашем случае при проходе гусеничного трактора образуются узкие борозды, быстро заполняющиеся более рыхлым почвенным материалом), то в соответствии с этим наблюдается и упорядоченное расположение растений. Интересно, что растения не только повторяют первичную неоднородность плотности, но и впоследствии поддерживают ее. При отсутствии растений бороздки от трактора довольно быстро исчезают и плотность на тропе нивелируется. В куртинах же пониженное значение плотности (1,65—1,75 г/см³) сохраняется на все время ее существования, несмотря на одинаковую рекреационную нагрузку (людей и машин) на всю площадь дороги.

Таким образом, с помощью растений почва «запоминает» былую неоднородность плотности.

Мятлик луговой на дороге.

Биология

Фламинго залетают в Ставрополье

А. Н. Хохлов, С. Н. Герасимов

Ставрополь

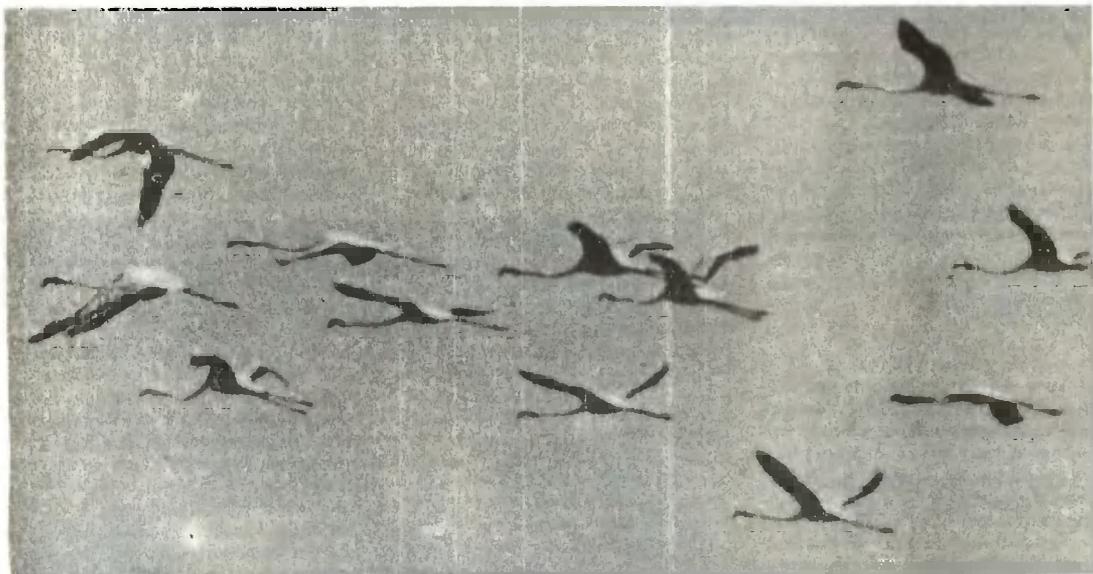
Обыкновенный фламинго (*Phoenicopterus roseus*) — редкая птица не только в нашей стране, но и в орнитофауне всего мира. На территории СССР фламинго гнездится только на солончатых озерах Казахстана, а зимует на западном и восточном побережьях Каспийского моря (территории Азербайджана и Туркмении) большими стадами, в отдельные годы, достигаящими 2—10 тыс. птиц.

Во время миграций случается, что немногие фламинго отбиваются от стаи и залетают в места с совершенно непригодным для этой теплолюбивой птицы климатом. Сейчас накопилось много сообщений о залетах фламинго в различные страны Западной Европы (даже в Финляндию) и Сибирь.

В июне 1973 г. на небольшом острове охотничьего хозяйства «Мадык» (близ озера Маныч-Гудило Ставропольского края) в стае коллиц мы с удивлением обнаружили двух взрослых фламинго. Удивляться было чему: фламинго никогда прежде здесь не появлялись. Полагая, что это были птицы, случайно сбившиеся с пути во время перелета, мы не придали факту никакого значения. Но через четыре года на одном из прудов (Изобильненский район, северо-запад Ставропольского края) мы вновь увидели фламинго. На этот раз их было три. Совершенно необычное зрелище представилось нашим глазам, когда в конце августа 1977 г. мы оказались в районе Чограйского водохранилища (восточная часть Ставрополья). На мелководье, в устье речки Чограйки метрах в четырехстах от берега «раслось» более тысячи фламинго! Здесь были и взрослые, и молодые птицы.

Стая фламинго прожила в Ставрополье недолго — до се-





Стая фламинго.

Биология

Аисты в Тамбовской области

В. Г. Скопцов
Тамбов

редины сентября. Кстати, в этом же году второй раз за столетие появилось несколько птиц в Крыму.

На озере Маныч-Гудило фламинго прилетали еще дважды и оба раза в июне 1981 г. Это были две взрослые птицы и стайка из семи фламинго (5 взрослых и 2 молодых).

С чем может быть связано появление фламинго в Ставрополе, пока сказать трудно. Сентябрь 1977 г. здесь был как обычно солнечным, теплым и сухим, поэтому залет крупной стаи фламинго на Чограйское водохранилище мы не склонны считать за вынужденную посадку птиц из-за неблагоприятной погоды (птиц вынуждает к этому сильный ветер, туман, снегопад). По нашему мнению, залет фламинго на восток Ставрополя скорее всего связан с необходимостью подкормиться в пути. Не исключено, что фламинго могли бы и гнездиться в Предкавказье, например на островах системы Манычских озер. Ведь именно здесь обитал этот вид уже в историческое время.

Ильмень — красивейшее из тамбовских озер. По долгу службы мне часто приходится здесь бывать, и потому неожиданные встречи — большая редкость. Четыре года назад солнечным апрельским утром я приметил трех крупных птиц на отдаленных плесах, а разглядев в бинокль, понял, что это белые аисты. Очевидно, они только что прилетели.

Мне часто доводилось встречать их и после на болотах рядом с Ильменем. Особенно приглянулось им соседнее Валуево болото — заторфяненное, со множеством глубоких ям, трудно проходимое для людей. Рядом с болотом на старом стого сена аисты вскоре построили гнездо — довольно грубое сооружение из толстых сучьев и палок — и поочередно усаживались в объемистый лоток.

Ильменских новоселов встречал я неоднократно и летом. По-прежнему неразлучно вышагивали они по болотам, но молодых птиц, которые к этому времени уже должны бы поя-

виться, почему-то не было видно. Может быть, выводок скрылся в траве? Но и по осени все те же три аиста кормились вблизи Ильменя. Приглядываящийся за аистами лесник Ржаксинского лесничества был внимателен, но и он аистят не заметил.

В сентябре аисты стали готовиться к отлету: часто кружились над болотом, а с похолоданием исчезали куда-то на день-два, потом появлялись снова. В конце месяца на Валуевом болоте было пусто.

Случайно ли залетели на Ильмень взрослые белые аисты, или то были молодые птицы, осваивающие новые гнездовые территории? Похоже, что второе предположение вернее: граница гнездового ареала аиста в нашей стране постепенно продвигается на восток и северо-восток и именно молодые птицы обживают новые участки. Что белые аисты, прилетевшие на Ильмень, не были взрослыми, ясно из отсутствия выводка: половозрелыми аисты становятся на третьем году жизни, а большинство самок начинает размножаться в четырехлетнем возрасте. Но даже и молодые птицы все же строят гнезда (в них они отдыхают и ночуют), хотя яиц не откладывают. Судя по появившимся на Ильмене аистам, расселение продолжается и достигло уже Тамбовской области.

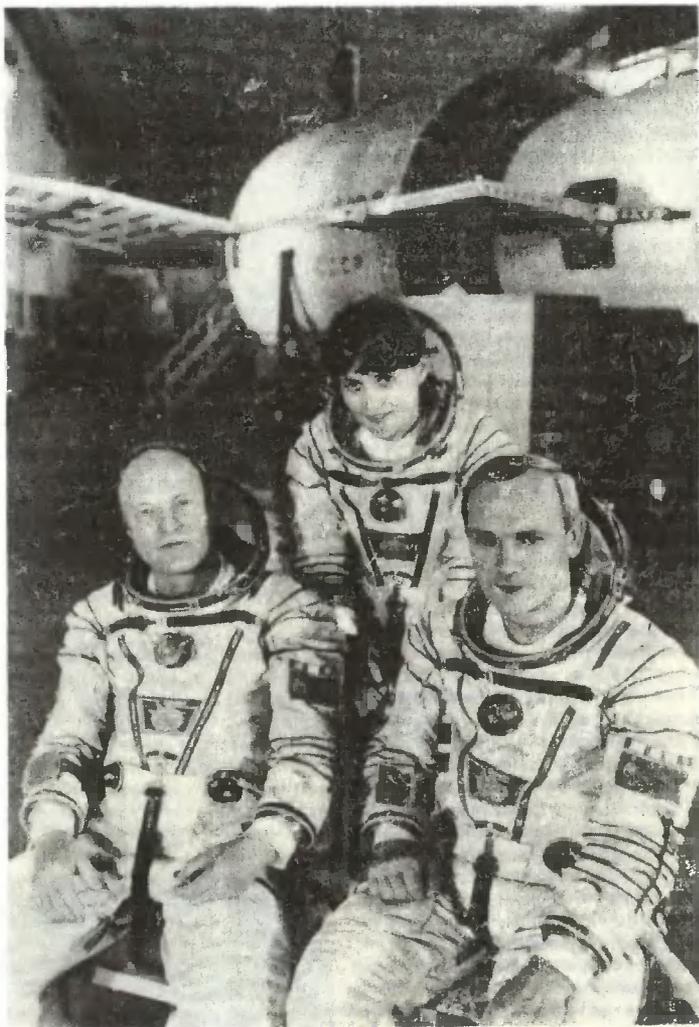
Космические исследования

«СОЮЗ Т-12»

17 июля 1984 г. в 21 ч 41 мин по московскому времени был осуществлен запуск транспортного космического корабля «Союз Т-12» с экипажем в составе: командир корабля летчик-космонавт СССР В. А. Джанибеков, бортинженер летчик-космонавт СССР С. Е. Савицкая и космонавт-исследователь И. П. Волк. 18 июля в 23 ч 17 мин «Союз Т-12» состыковался с орбитальным комплексом «Салют-7» — «Союз Т-11»; экипаж «Союза Т-12» перешел в помещение орбитальной станции. Программа работы экипажа из шести космонавтов включала технические и технологические эксперименты, наблюдения и фотосъемку земной поверхности, медико-биологические, астрофизические и другие исследования.

В серии медицинских исследований была получена дополнительная информация о влиянии условий космического полета на организм человека и процессах адаптации к невесомости. Исследовалось функциональное состояние сердечно-сосудистой системы космонавтов, определялись острота и глубина зрения, степень утомляемости глаз, степень цветового восприятия. В экспериментах «Пневматик», «Профилактика», «Анкета» оценивалась эффективность средств профилактики неблагоприятного воздействия невесомости на организм человека, исследовались причины вестибулярных расстройств на начальном этапе полета.

В биологическом эксперименте «Цитос-3», подготовленном советскими и французскими учеными, изучалось влияние факторов космического полета на проницаемость оболочек клеток микроорганизмов и



Экипаж космического корабля «Союз Т-12» (с права на лево): командир летчик-космонавт СССР В. А. Джанибеков, бортинженер летчик-космонавт СССР С. Е. Савицкая и космонавт-исследователь И. П. Волк.

на другие характеристики их жизнедеятельности.

Обширной была программа исследований в области космического материаловедения, технологических и биотехнологических экспериментов.

В эксперименте «Тампонаж» в невесомости были получены герметизирующие смеси из различных модельных мате-

риалов. Сравнительный анализ образцов, полученных на Земле и в условиях слабой гравитации, позволит полнее изучить механизм образования микроструктур при затвердевании тампонажных смесей, применяемых для герметизации нефтяных и газовых скважин.

Несколько циклов экспериментов было проведено на усовершенствованной установке «Таврия»: в электрическом поле разделялись биологические препараты для получения в условиях невесомости опытных партий сверхчистых веществ и новых эффективных лекарственных препаратов. При этом в одной из электрофоретических камер установки проводилась очистка противoinфекционного препарата, полученного с помощью генной инженерии; в другой камере разделялись клетки, производящие антибиотик, который является лекарством и стимулятором роста биомассы и продуктивности сельскохозяйственных животных; из антигенов вируса гриппа выделяли сверхчистый препарат для производства высокоэффективных профилактических вакцин и сывороток.

В усовершенствованной установке «Таврия» применены новые системы и аппаратура — прототип перспективных полуавтоматических установок для космической биотехнологии.

Цель нескольких серий экспериментов «Электротопограф» — исследование динамики изменения характеристик различных материалов при комплексном воздействии факторов космического пространства, а также отработка методов диагностики их состояния непосредственно на борту орбитальной станции. Образцы экспонировались в разгерметизированной шлюзовой камере, а за их состоянием следила аппаратура «Электротопограф». В качестве образцов наряду с модельными использовались и композиционные материалы. По сравнению с предыдущими экспериментами увеличено время экспонирования образцов в открытом космосе, применены более чувствительные к электрическому полю фотопленки.

В соответствии с программой астрофизических исследо-

ваний проведены циклы экспериментов «Пирамиг» по изучению распределения межпланетного вещества в космическом пространстве. Структура земной атмосферы и значение ее параметров вблизи орбитально-го комплекса исследовались как с помощью фотокамеры «Пирамиг», так и масс-спектрометрической аппаратуры «Астра-1».

В эксперименте «Экстинкция» определялась плотность аэрозольных слоев космического происхождения в земной атмосфере: с помощью электронного фотометра ЭФО-1 фиксировались изменения яркости звезд при заходе их в атмосферный слой Земли и пересечении при этом слоя аэрозоля.

В интересах различных отраслей народного хозяйства космонавты провели несколько серий визуально-инструментальных наблюдений и фотографирования южных районов нашей страны, бассейнов Каспийского и Черного морей, республик Средней Азии.

25 июля 1984 г. в 18 ч 55 мин С. Е. Савицкая и В. А. Джанибеков осуществили выход в открытый космос. Был испытан новый универсальный ручной инструмент, предназначенный для выполнения сложных технологических операций. Инструмент разработан в Институте электросварки им. Е. О. Патона АН УССР. С его помощью С. Е. Савицкая выполнила операции по резке, сварке, пайке металлических пластин и напылению покрытия. В. А. Джанибеков в это время проводил киносъемку и вел телевизионный репортаж. Затем космонавты поменялись местами, и цикл технологических операций на других образцах выполнил В. А. Джанибеков.

Общее время пребывания С. Е. Савицкой и В. А. Джанибекова в открытом космосе составило 3 ч 35 мин.

Впервые в практике космических исследований выход в открытое космическое пространство совершила женщина-космонавт. Успешное выполнение С. Е. Савицкой уникальных экспериментов в открытом космосе показало возможность эффективной деятельности женщины при проведении сложных работ не только на борту пило-

тируемого орбитального комплекса, но и вне его.

29 июля 1984 г. после выполнения запланированной программы исследований члены краткосрочной экспедиции вернулись на «Салют-7» на Землю: в 16 ч 55 мин спускаемый аппарат совершил посадку в 140 км юго-восточнее г. Джезказгана.

С. А. Никитин
Москва

Космические исследования

Новые данные о кольцах Юпитера и Сатурна

В 1979 г. с борта американской межпланетной станции «Вояджер» была получена фотография, на которой зафиксировано кольцо Юпитера. Судя по изображению, кольцо имеет очень плоскую форму и значительно уступает в плотности системе колец Сатурна.

По мнению Дж. Х. Бернса и М. Р. Шоуолтера (J. H. Burns, M. R. Showalter; Корнеллский университет, Итака), Дж. Н. Кэзи и Дж. Б. Поллака (J. N. Cuzzi, J. B. Pollak; Эймсовский исследовательский центр НАСА, штат Калифорния, США), кольцо Юпитера представляет собой не плоский диск, а тор толщиной около 10 тыс. км. Радиус тора около 15 тыс. км; с внешней стороны он дополнительно окружен светлым кольцом из более разреженного вещества.

Столь значительная толщина может быть следствием того, что мелкие частицы, составляющие тор, должны были под воздействием магнитного поля Юпитера, наклоненного относительно плоскости вращения планеты, «вылететь» из экваториальной плоскости кольца. Но так как фотоаппаратура «Вояджера» была направлена на кольцо под углом всего 2° к горизонту, в ее поле зрения выступавшие очертания ближней и дальней частей тора выглядели как пространственно плоский диск.

Тщательная обработка космических снимков показала, что у кольца существует и дис-

коподобная разреженная часть. Но находится она не во внутренней, как полагали до сих пор, а во внешней части кольца и простирается на 4 тыс. км, вплоть до орбиты спутника Амальтея.

Каззи изучал по космическим снимкам область деления Кассини в кольцах Сатурна (пробел между кольцами А и В, изобилующими мелкими телами). Пробел до сих пор нередко объясняли тем, что в нем якобы находятся еще неизвестные малые спутники, «расчищающие» это пространство от более мелких объектов. Однако Каззи не обнаружил в этой области неизвестных спутников с диаметрами по крайней мере 5 км (предел разрешающей способности приборов). А вот у краев деления Энке в кольце А обнаружены участки, имеющие волнистые, или зубчатые, очертания. Возможно, такая форма связана с волнами, вызываемыми тяготением еще неизвестных малых спутников Сатурна. Пространственное распределение волнообразных участков указывает на то, что в пределах деления Энке могут существовать три неизвестных спутника Сатурна. К сожалению, район их предполагаемого местонахождения оказался за пределами фотографий, обладающих необходимым разрешением.

Одна из загадок колец Сатурна — «спицы», радиально идущие от периферии к центру и особенно четко наблюдаемые в кольце В. Предположительно «спицы» образуются в результате того, что электростатически заряженные частицы покидают плоскость кольца; просуществовав несколько часов, «спицы» разрушаются. Однако наблюдалась одна или две «спицы», которые «росли» радиально по мере вращения вместе с магнитным полем Сатурна. Возможно, источник, заряжающий частицы «спицы» (им может быть, например, локальное облако плазмы) поддерживает в них заряд на уровне, достаточном, чтобы они долго оставались под влиянием магнитного поля.

Астрофизика

Можно ли наблюдать радиолинии тяжелых элементов?

В последние годы успехи рентгеновской астрономии позволили обнаружить в горячем, разреженном газе у остатков вспышек сверхновых и скоплениях галактик водородоподобные (ядро с зарядом Z и одним электроном), гелио- или литиеподобные (ядро с зарядом Z и тремя электронами) ионы железа, кислорода, азота, неона, кремния, серы, марганца. В остатках сверхновых и в скоплениях галактик такие сильноионизованные тяжелые элементы возникают благодаря высокой электронной температуре (от $5 \cdot 10^8$ до 10^9 К). Если спин ядра отличен от нуля, основные уровни его водородо- или литиеподобных ионов могут иметь сверхтонкую структуру. Радиолинии, соответствующие переходам между компонентами сверхтонкой структуры, полностью аналогичны линии 21 см нейтрального водорода.

Р. А. Сюняев и Е. М. Чурзов (Институт космических исследований АН СССР) рассчитали переходы между подуровнями сверхтонкой структуры для ряда тяжелых элементов. Как оказалось, эти переходы относятся к миллиметровому и субмиллиметровому диапазонам спектра. Оценки потока излучения в линиях азота и изотопа железа ^{57}Fe , проведенные авторами, показывают, что эти радиолинии можно реально наблюдать.

Подобным же образом можно судить о наличии в горячем газе нестабильных изотопов, время жизни которых превышает возраст вспышки. Особенно это касается ^{26}Al , период полураспада которого $7 \cdot 10^5$ лет. Как показали расчеты, линия литиеподобного иона ^{26}Al должна наблюдаться на длине волны 1,7 мм.

Наблюдения в радиодиапазоне более перспективны, так как радиотелескопы в настоящее время имеют намного лучшее пространственное и

энергетическое разрешение, чем рентгеновские телескопы. Поэтому наблюдение миллиметровых радиолиний, предложенное Сюняевым и Чурзовым, позволяет рассматривать тонкие эффекты в горячем газе, например изучать распределение данного химического элемента в облаке газа, определять не только номер этого элемента, но и его атомный вес, что дает возможность изучать изотопный состав межгалактического и межзвездного газа.

Подобная информация, наряду с данными рентгеновских наблюдений, необходима для понимания процессов ядерного синтеза во Вселенной, а также для космохронологии.

Письма в АЖ, 1984, т. 10, № 7, с. 483—493.

Астрофизика

Гравитационное излучение от двойной звездной системы подтверждено

В 1979 г. группа американских астрофизиков во главе с Дж. Тейлором (J. Taylor; Принстонский университет) сообщила об обнаружении гравитационных волн¹. С 1974 г. они измеряли время запаздывания сигнала от пульсара PSR 1913+16, входящего в двойную звездную систему. Эти наблюдения позволили, кроме классических параметров орбиты пульсара, определить и четыре дополнительных — релятивистских, отличие которых от нуля следует из общей теории относительности. Речь идет о скорости движения периастра орбиты звезды; величине задержки сигнала из-за гравитационного красного смещения в поле звезды-компаньона; уменьшении орбитального периода вращения (P) за счет потери энергии на излучение гравитационных волн и об угле наклона орбиты. Хотя четвертый

¹ Шакура Н. И. Гравитационное излучение от двойной системы, содержащей радиопулсар. — Природа, 1979, № 10, с. 99.

параметр и является геометрическим, на самом деле он определяется релятивистским эффектом — задержкой сигнала при прохождении его вблизи другой звезды.

В последние годы группе Тейлора удалось значительно увеличить точность, с которой определялось запаздывание: стандартная ошибка уменьшилась с 300 до 20 мкс. Это позволило с гораздо большим основанием утверждать, что наблюдаемое уменьшение периода орбитального движения действительно происходит из-за излучения гравитационных волн. Отношение наблюдаемого значения \dot{P} к вычисленному по общей теории относительности настолько близко к единице ($1,00 \pm 0,04$), что может считаться косвенным доказательством существования гравитационных волн.

Кроме того, Дж. Тейлору с сотрудниками удалось с большой точностью определить значения масс звезд — компонентов двойной системы: масса пульсара равна ($1,42 \pm 0,03$) M_{\odot} , масса звезды-компаньона — ($1,40 \pm 0,03$) M_{\odot} . Полученные значения поразительно близки к величине массы, называемой пределом Чандрасекара ($1,4 M_{\odot}$). Речь идет о значении массы, больше которой стационарное состояние звезды без внутренних источников энергии становится невозможным, так как давление не может уравновесить силу тяжести.

Physical Review Letters, 1984, v. 52, № 15, p. 1348 (США).

Астрономия

Комета Галлея «мигает»

Комета Галлея¹, которая в 1986 г. должна пройти вблизи Земли, в июне 1984 г. находилась на расстоянии более 1 млрд км от нашей планеты. Однако астрономы уже неот-

рывно «ведут» ее по звездному небу.

Группа, возглавляемая Ж. Лекашо (J. Lecacheux; Медонская обсерватория, Франция) обнаружила, что светимость кометы то возрастает, то резко падает. Подобного «мигания» никогда раньше у комет не отмечалось.

С помощью 3,6-метрового телескопа Канадско-французско-гавайской обсерватории получены изображения кометы Галлея, судя по которым начиная с февраля 1984 г. ее светимость регулярно (примерно каждые сутки) быстро, в течение часа, увеличивается, после чего столь же быстро падает.

Необычный факт подтвердили американские астрономы, работающие на обсерватории Маунт-Паломар в штате Калифорния.

Ж. Лекашо предлагает несколько возможных объяснений. Согласно одному из них, в ядре кометы находятся два источника излучения, один из которых более яркий, чем другой. Вращение кометы вокруг ее собственной оси с периодом примерно 24—48 ч и приводит к наблюдаемым перепадам яркости.

Согласно другой гипотезе, поверхность кометы покрыта слоем пыли, возможно, отложившейся во время ее предыдущих сближений с Солнцем (последнее произошло в 1910 г.). Этот слой может временем разрушаться, вызывая изменения в светимости небесного тела. Однако причина такого нарушения, в свою очередь, потребует объяснения.

На исключено, что «мигание» связано с выделением газа с поверхности кометы под влиянием солнечного тепла, в область заметного воздействия которого она как раз теперь вступает. По проведенным подсчетам, испарение может приводить к выбросу в космическое пространство тысяч тонн газа, который в лучах Солнца приобретает более яркое свечение.

Изучение странного явления должно быть проведено достаточно быстро, так как, сближаясь с Солнцем, комета в течение года выделит столь большое количество газов, что на-

блюдение ее поверхности станет весьма затруднительным. Возможно, подобное «мигание» свойственно и другим кометам, и не замечали его потому, что до сих пор кометы начинали наблюдать лишь в период, когда они уже были значительно ближе к Солнцу, чем сейчас комета Галлея.

New Scientist, 1984, v. 102, № 1411, p. 20 (Великобритания).

Необычный метеорит

В декабре 1980 г. на территорию Народной Демократической Республики Йемен упал метеорит массой около 2 кг, названный по месту находки Кайдун. Часть метеорита была доставлена для изучения в Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР. Применив комплекс новейших методов, ученые обнаружили, что Кайдун — один из самых необычных метеоритов.

Это реголитовая брекчия, состоящая из основной матрицы (ее назвали Кайдун I) и сцементированных ею ксенолитов. Вообще, брекчированность достаточно характерна для метеоритов, но в данном случае исследователи имели дело с разными типами ксенолитов (Кайдун II, III, IV), резко различающимися по петрографическим и минералогическим характеристикам.

В ходе изотопных исследований было обнаружено, что в разных ксенолитах и в «матрице» метеорита изотопный состав ксенона и его концентрация совершенно различны: в Кайдуне II концентрация ксенона рекордно высока — 6×10^{-9} г/см³, в то время как в Кайдуне I и IV эта концентрация, соответственно, в 2 и 10 раз ниже.

Было высказано предположение, что разные по изотопному составу ксенолиты — это фрагменты вещества совершенно разного происхождения. Дальнейшие исследования подтвердили эту догадку. Соста-

¹ Подробнее об этой комете см.: Марочник Л. С., Скуридин Г. А. На встречу с кометой Галлея. — Природа, 1982, № 8, с. 2.

вив атомные отношения ряда элементов к кремнию (подобные отношения являются диагностическим признаком для разделения метеоритов на группы), геохимии убедились, что вещество метеорита Кайдун действительно разнородно: Кайдун I и II можно отнести к углистым хондритам, а Кайдун IV — к энстатитовым хондритам.

Таким образом, присутствие в едином метеоритном теле вещества, столь сильно отличающихся по степени окисления-восстановления и, соответственно, по условиям (а возможно, и месту) формирования в протопланетном облаке, свидетельствует о заметном перемешивании вещества до образования родительских тел метеоритов.

Тезисы докладов XIX Всесоюзной конференции по метеоритике и космохимии. М., 1984, с. 67—73.

Физика

Осмий подтверждает космическую катастрофу

Избыточная концентрация иридия, обнаруженная недавно на границе между меловым и третичным периодами в некоторых морских осадочных породах, а также в ряде районов на суше, связывается рядом исследователей с экологическим кризисом, разразившимся на Земле 65 млн лет назад¹. Согласно этой гипотезе, «иридиевая аномалия» свидетельствует о падении на Землю кометы, астероида или крупного метеорита, не только доставившего избыточный иридий (редкий на Земле, но часто встречающийся в составе небесных тел), но и резко нарушившего сложившиеся условия на ее поверхности и в атмосфере. Однако, по мнению противников подобной гипотезы, поведение следовых элементов типа иридия в воде океанов в течение дли-

тельного времени изучено весьма слабо, поэтому нельзя исключить возможность естественного избирательного скопления иридия земного происхождения.

Ж.-М. Лак и К. Турекян (J.-M. Luck, K. Turekian; Йельский университет, Нью-Хейвен, штат Коннектикут, США) проанализировали содержание в земных породах другого редкого на Земле элемента — осмия, что позволило проверить гипотезу о «космической катастрофе» независимым методом. Было сопоставлено соотношение изотопов ¹⁸⁷Os и ¹⁸⁸Os в марганцевых конкрециях на дне океана; эти конкреции растут, концентрируя вещества, содержащиеся в морской воде. Оказалось, что соотношение изотопов осмия не отличается от того, которое характерно для скоплений осмия на суше. Так, оно совершенно одинаково в столь удаленных друг от друга местах, как морские осадочные породы вблизи Стенс-Клинта (Дания) и породы континентальной земной коры в районе Ратона (штат Колорадо, США), лежащего в нескольких тысячах километров от любого побережья.

С другой стороны, соотношение изотопов осмия в пограничном слое, отделяющем меловой период от третичного, обладает большим сходством с подобным соотношением в метеоритах, но существенно отличается от остальной земной коры.

Исследователи рассмотрели также возможность того, что необычное скопление осмия в пограничном слое связано с вулканической деятельностью. (Согласно некоторым работам, при ряде извержений на поверхность Земли выбрасывалось относительно большое количество редких элементов, в том числе и иридия.) Не отрицая полностью подобной возможности, Лак и Турекян все же указывают, что извержение того масштаба, которое необходимо для выброса редких элементов в количествах, содержащихся повсеместно на границе мела и третичного периода, еще менее вероятно, чем столкновение Земли с крупным небесным телом. Таким образом, гипотеза столкновения Земли с метеори-

том получила сильное независимое подкрепление.

Science, 1983, v. 222, № 4624, p. 613—615 (США).

Физика

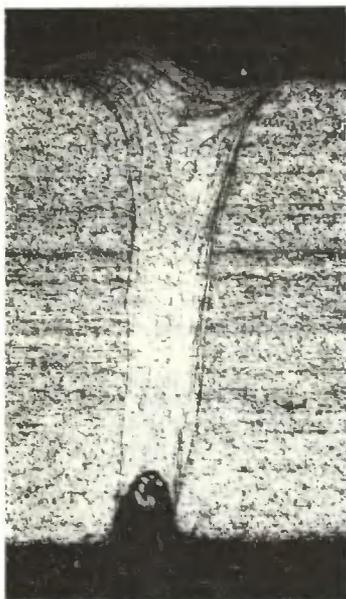
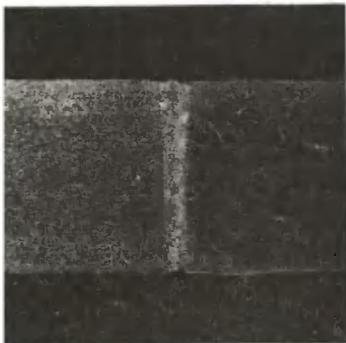
Мощный технологический импульсный СО₂-лазер

Долгое время импульсные СО₂-лазеры с поперечным разрядом использовались главным образом в физических экспериментах, хотя с самого начала были ясны их потенциальные возможности в качестве технологических инструментов. К достоинствам этих лазеров можно отнести простоту и надежность разрядной системы и системы прокачки газа, а также отсутствие многих специфических проблем, присущих мощным непрерывным СО₂-лазерам. Причина, по которой импульсные СО₂-лазеры не использовались, например, в промышленности, — несоответствие параметров их излучения требованиям, необходимым для традиционного фазового преобразования металла при резке и сварке.

В ходе исследований выяснилось, что если интенсивность в фокальном пятне повысить до 10^8 Вт/см², то излучение импульсного СО₂-лазера можно использовать там, где раньше применялось лишь непрерывное излучение. Г. И. Левин (Научно-исследовательский институт монтажной технологии, Москва) предлагает применять для технологических целей разработанный экспериментальный образец импульсного СО₂-лазера ЛГИТ-1,0. Подпитка лазера газовой смесью производится из баллона; в системе прокачки использованы вентиляторы массового производства. Лазер запускается и выходит на заданный режим мгновенно, поэтому его включение, а при достаточно длинных паузах, и включение вентиляторов, производится только на время активной части технологического цикла.

Основное назначение ЛГИТ-1,0 — сварка, однако его можно использовать и для реше-

¹ Чуянов В. А. Следы космической катастрофы? — Природа, 1982, № 3, с. 31.



Фотографии поперечного сечения шва в нержавеющей стали толщиной 7 мм [вверху] и 1 мм [внизу].

узким глубоким швом на толщине не менее 6—10 мм. Подобная сварка листов металла малой толщины представляет большой практический интерес, так как позволяет соединять металлы без разрушения зоны около шва и почти без термических деформаций.

С помощью лазера ЛГИТ-1,0 была проведена сварка углеродистой и нержавеющей стали, циркония, титана, никеля. Прочность металла в шве оказалась идентичной прочности основного металла, а следов межкристаллитной коррозии обнаружено не было.

Из недостатков лазера ЛГИТ-1,0 следует отметить значительный шум (65 дБ при максимальной мощности) на частоте повторения импульсов 400—600 Гц, высокую скорость сварки, примерно равную скорости аргоно-дуговой, образование гребешка на внешней стороне шва и канавки — на внутренней (см. нижний рисунок).

Эти недостатки, ограничивая область применения импульсного CO_2 -лазера, не умаляют его основных достоинств. К последним можно отнести и преимущество перед аналогичным зарубежным лазером CL-5 (фирма «Ферранти», Великобритания) по необходимой мощности излучения (20 кВт вместо 125 кВт), занимаемой площади (2,4 м² вместо 7,1 м²), массе (1,5 т — 7,5 т) и стоимости при единичном изготовлении (20 тыс. руб. вместо 100 тыс. ф. ст.).

Квантовая электроника, 1983, т. 10, № 12, с. 2493—2496.

плоскопараллельных пластин толщиной около 4 мм предварительно подвергались γ -облучению для образования в них радиационных центров окраски. В процессе записи голограммы под действием излучения происходило обесцвечивание центров окраски.

Голограммы на силикатных стеклах стабильны при комнатной температуре и не обесцвечиваются при восстановлении изображения. Для записи голограмм использовалось излучение с длиной волны $\lambda=266-400$ нм (экспозиция 0,6—400 Дж/см² в зависимости от длины волны и типа стекла). Неразрушающее восстановление изображения производится в свете непрерывного излучения гелий-неонового лазера ($\lambda=633$ нм); для разрушения голограммы в процессе восстановления потребовалась бы экспозиция не менее 10³ Дж/см².

Силикатные стекла отвечают требованиям, предъявляемым к регистрирующим материалам для голографии. Для них характерна высокая разрешающая способность (не менее 500⁻¹) и длительный срок хранения информации. Кроме того, γ -окрашенные стекла позволяют производить многократное повторение цикла «запись — стирание» голограммы путем термического (при температуре 100—150 °С) или оптического ($\lambda=450$ нм) обесцвечивания и повторного окрашивания.

Письма в ЖТФ, 1984, т. 10, вып. 6, с. 347—349.

Техника

Физика

ния ряда других задач. К технологическим особенностям лазеров этого типа в первую очередь следует отнести весьма низкую среднюю мощность, приходящуюся на единицу глубины проплавления металла (0,1—0,2 кВт/мм), это в 5—6 раз меньше, чем у непрерывных лазеров. Имеется возможность «кинжального проплавления» (т. е. создания узкого глубокого шва) на толщинах от 8 до 1 мм; ближайший конкурент — электронный луч — обеспечивает сварку

Голограммы регистрируются на оконном стекле

Группа советских исследователей (Л. Б. Глебов, О. М. Ефимов и др.) осуществила запись объемных голограмм в широком спектральном диапазоне на γ -окрашенных промышленных силикатных стеклах.

Для записи использовались оптические, оконные и специальные щелочно-силикатные стекла. Все образцы в виде

Томограф для деревьев

Группа японских ученых из Токийского университета, из лаборатории по изучению окружающей среды Института электроэнергетической промышленности и корпорации «Ригаку» разработала передвижной рентгеновский томограф¹, предназна-

¹ Подробнее о принципах действия компьютерных томографов см.: Власов П. В., Свиридов Н. К.

ченный для исследований в полевых условиях внутренней структуры растущих деревьев.

Основу томографа составляют две горизонтальные U-образные пластины, имеющие общую вертикальную ось, вдоль которой и располагается ствол исследуемого дерева. Нижняя пластина неподвижна и служит опорой установки. На верхней пластине помещены механизм секторного сканирования, рентгеновская трубка с напряжением 40—120 кВ, дающая три коллимированных пучка, которые направлены под углом 8° друг относительно друга, и три сцинтилляционных счетчика на кристаллах NaI, детектирующих эти пучки. Фокус рентгеновской трубки, вокруг которого вся система поворачивается с шагом 2°, несколько смещен относительно центра дерева, т. е. томограф работает в режиме веерного пучка. Всем процессом сканирования и регистрации проекционных данных управляет микропроцессор, который прекращает съемку, когда объем информации станет достаточным для реконструкции томограммы с требуемым разрешением. (Обычно при каждом сканировании производится 1200 выборок по 16 бит в каждой.)

Качество получаемых изображений очень высокое — не хуже чем при фотографировании среза срубленного дерева. Вполне различимы детали структуры годичных колец, их дефекты, посторонние мелкие включения и т. п.

Томограф может быть использован для контроля техногенного влияния на состояние лесов, для определения качества деловой древесины, сохранности деревянных столбов, строительных конструкций и т. п.,

а также в археологии — для обнаружения внутренних повреждений деревянных изделий и для дендрохронологии.

Proceedings of the IEEE, 1983, v. 71, № 7, p. 907 (США).

Химическая физика

Пироэлектрические свойства полидиметилсилоксана

Некоторые диэлектрические материалы в кристаллической форме обладают важными пироэлектрическими свойствами. Так, при изменении температуры у них меняется спонтанная поляризация (особенно вблизи температур фазовых переходов), что вызывает появление заметного электрического поля и тока. На основе подобных пироэлектриков создают индикаторы, в том числе при изучении быстротеменяющихся тепловых процессов; изготавливают дистанционные датчики температур, приборы теплоизмерения. В основном пироэлектрики обнаружены среди неорганических веществ, тогда как среди органических полимеров только для кристаллов поливинилиденфторида в β-форме наблюдался пироэлектрический эффект. Но, как считают специалисты, именно тонкопленочные пироэлектрические материалы на основе органических полимеров должны обладать рядом технических преимуществ.

Исследуя комплекс физико-химических и электрофизических свойств полидиметилсилоксана (ПДМС), В. В. Коршак, В. С. Воищев, П. М. Валацкий и Н. Н. Матвеев (Институт элементорганических соединений им. А. Н. Несмеянова АН СССР), обнаружили пироэлектрический эффект у ПДМС с молекулярной массой $6 \cdot 10^5$ кг/кмоль.

Это вещество характеризуется весьма высокими степенью кристалличности и скоростями кристаллизации, что важно для проявления пироэлектрических свойств. Кристаллизация начинается с 213 К. При охлаждении пленки толщиной

50—120 мкм именно с этой температуры резко возрастал пироэлектрический ток в образце (максимум тока зарегистрирован при 208 К). Когда же образец нагревали, возникал противоположного знака; при температуре плавления 229 К плотность этого тока была максимальной.

Как и для большинства пироэлектриков, температурная зависимость относительной диэлектрической проницаемости ПДМС характеризуется экстремумами при температурах фазовых переходов: 213 К — кристаллизация, 229 К — плавление. Подобная зависимость указывает на наличие при этих температурах фазовых переходов 1-го рода.

Доклады АН СССР, 1983, т. 273, № 3, с. 647—649.

Физическая химия

Класпол — новый металлополимер

Среди композиционных материалов особое место занимают металлополимеры, содержащие частицы металлов в полимерной матрице. Они обладают высокой электропроводностью, термостойкостью, теплопроводностью, прочностью и ценными магнитными свойствами. Но все же введение металлических порошков, особенно крупнозернистых, ухудшает физико-механические свойства полимера. Ведь в полимерах всегда присутствуют естественные «пустоты», обусловленные особенностями упаковки полимерных цепей. Поэтому закономерны поиски новых путей введения металла в полимерную матрицу.

Интересный способ изготовления однофазных металлополимеров разработали С. П. Губин и И. Д. Кособудский (Институт неорганической химии СО АН СССР, Новосибирск). Он основан на формировании в естественных пустотах полимерных матриц металлических кластеров; происходит это при высокоскоростном мономолекулярном термическом разложении соединений металла, рас-

Лауреаты Нобелевской премии 1979 г. По медицине — Г. Н. Хаунсфилд и А. М. Кормак. — Природа, 1980, № 1, с. 91; Бухштабер В. М., Гиндикии С. Г. От принципа Кавальери к томографу. — Природа, 1983, № 6, с. 12; Тимонов А. Н., Арсенин В. Я., Рубашов И. Б., Тимонов А. А. Первый советский компьютерный томограф. — Природа, 1984, № 4, с. 11.

творенных в расплаве полимера, и последующем охлаждении расплава.

Исследовались полимерные матрицы из полиэтилена, полипропилена, тефлона, в которые вводились любые металлы и их смеси в виде карбониллов, ацетатов, форматов и других соединений. Установлено, что размеры кластеров зависят от концентрации металла в расплаве, но изменяются в узких пределах 14,8—22 Å; порядок периодичности расположения кластеров в матрице также зависит от концентрации металла. Исследование металлополимеров на примере кластеров железа показало, что металлы в кластерах, как правило, находятся в неокисленном состоянии. При определенных концентрациях металла полученные материалы являются однофазными металлополимерами, причем сильное взаимодействие между кластером и полимером приводит к тому, что полимерная матрица становится псевдокристаллической (разделения полученных материалов на компоненты не происходит ни при физических, ни при сильных химических воздействиях).

Исследование электрофизических свойств металлополимеров показало, что введение кластеров железа снижает их сопротивление на 10—15 порядков, причем температурная зависимость проводимости носит полупроводниковый характер (т. е. проводимость растет с ростом температуры). Магнитные свойства металлополимеров, содержащих кластеры железа, подобны свойствам «спиновых стекол».

Новым материалам присвоено техническое название «класподы». Они хорошо пресуются и могут быть переработаны в изделия любой формы.

Доклады АН СССР, 1983, т. 272, № 5, с. 1155—1158.

Физическая химия

Небиологическая матрица «узнает» мономер

Моделирование одной из самых совершенных систем природы — системы матричного

синтеза биополимеров — представляет большой интерес. Недавно была проведена реакция матричной полимеризации, в результате которой осуществлен преимущественный отбор одного из двух мономеров, присутствующих в реакционной смеси. О. В. Каргина, Л. А. Мишустина, А. А. Сошинский и В. А. Кабанов (Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Институт нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева АН СССР, Институт элементорганических соединений им. А. Н. Несмеянова АН СССР) провели радикальную сополимеризацию в системе, содержащей 2-метил-5-винилпиридин (МВП) и акриловую кислоту (АК). В результате реакции был получен полимер, в котором содержание МВП достигло 100% (при исходном содержании мономеров 1:1). Реакция велась в кислой среде; в качестве матрицы использовался полифосфат натрия. В контрольных опытах, где вместо полифосфатной матрицы использовался ее номонерный аналог NaH_2PO_4 , соотношение МВП и АК в продукте сополимеризации составляло примерно 3:2.

Полученные результаты можно объяснить следующим образом: в кислой среде молекулы МВП практически полностью протонированы, т. е. заряжены положительно. Они сорбируются на отрицательно заряженной полианионной матрице; в этих условиях происходит иницирование полимеризации и быстрый рост цепи; между полифосфатной матрицей и дочерним макрорадикалом образуется поликомплекс. Нейтральные же в данных условиях молекулы акриловой кислоты просто вытесняются из области полимеризации.

Когда в качестве матрицы вместо полифосфата использовали полипропиленфосфорную кислоту, в которой ионогенные фосфатные группы разделены тремя метиленовыми звеньями, поликомплекс также образовывался, но в нем оказалось гораздо больше примеси акриловой кислоты — до 27%.

Полученные результаты — первый пример матричного отбора одного мономера из смеси двух соединений, близ-

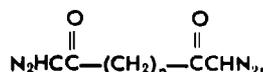
ких по реакционной способности. Следующим шагом могло бы стать создание более сложных по составу матриц и синтез на их основе полимерных цепей с более сложными последовательностями звеньев.

Доклады АН СССР, 1984, т. 275, № 3, с. 657—660.

Химия

Противоопухолевая эффективность бисдиазокетонов

При поиске высокоэффективных препаратов исследователи анализируют взаимосвязь между строением химических веществ, их реакционной способностью и биологической активностью. Так, Н. М. Эмануэль, Л. И. Кировский, А. М. Сипягин, В. Г. Карцев (Отделение Института химической физики АН СССР, Черноголовка) доказали, что соединения ряда бисдиазокетонов



$n=0, 1, 2, \dots$, способные вводить в молекулы алкильные радикалы, обладают противоопухолевой эффективностью.

В системе бисдиазокетоны — водный раствор HClO_4 изучался процесс, включающий образование ионов диазония $(-\text{N}_2\text{H})^+$ и последующее их взаимодействие с водой (нуклеофилом). Известно, что скорость нуклеофильного замещения возрастает при внутримолекулярном воздействии соседних атомов или групп; в молекулах бисдиазокетонов такое воздействие может оказать атом кислорода второй карбонильной

группы ($-\text{C}=\text{O}$). Как показали оценки, степень такого воздействия в изученном ряду бисдиазокетонов максимальна у диазана ($n=2$ в приведенной формуле). Максимальной оказалась и противоопухолевая эффективность диазана.

Таким образом, найденная корреляция между противоопухолевой эффективностью и алкилирующей способностью бисдиазокетонов подтвердила, во-первых, предположение, что биологическое действие этих соединений обусловлено их участием в алкилировании биомолекул и, во-вторых, что на основе кинетического метода тестирования возможна предварительная оценка противоопухолевой активности.

Доклады АН СССР, 1983, т. 273, № 4, с. 892—894.

Молекулярная биология

Конструирование вакцин методом геной инженерии

Вирус простого герпеса; делящийся на два серотипа (1-й и 2-й), известен как причина повторяющихся поражений кожи и слизистых оболочек, повинен в смертельной герпетической инфекции новорожденных, способен вызывать энцефалиты. Только в США около 9 млн женщин страдают заболеваниями гениталий, вызываемыми этим вирусом. Имеются данные, что со 2-м серотипом связан рак шейки матки.

Вакцины против вируса простого герпеса не существует. Тем не менее известно, что на его поверхности находится так называемый гликопротеин D, антисыворотка против которого способна нейтрализовать инфекционную активность вируса герпеса обоих серотипов, так как в гликопротеине D имеются общие для них антигенные детерминанты.

Э. Паолетти с сотрудниками (E. Paoletti; лаборатория иммунологии Нью-Йоркского центра лабораторных исследований, США) ввел в геном вируса коровьей оспы последовательность нуклеотидов, кодирующих гликопротеин D вируса герпеса 1-го серотипа. При культивировании *in vitro* полученный гибридный вирус синтезировал достаточные количества гликопротеина D вируса герпеса. Синтезированное вещество прояв-

ляло антигенные свойства и реагировало с антисывороткой, направленной против «нормального» гликопротеина D. После введения гибридного вируса кроликам в их крови обнаружили вначале гликопротеин D вируса герпеса, а затем — антитела против него, которые в культуре клеток понижали инфекционность вируса герпеса. Введенный мышам гибридный вирус оказался способен защитить их от смертельных доз вируса герпеса.

Та же группа исследователей ввела в геном вируса коровьей оспы последовательность нуклеотидов, кодирующих антиген вируса гепатита В. В крови лабораторных животных, которым ввели такой гибридный вирус, был отмечен высокий уровень специфических антител против вируса гепатита В.

По мнению авторов, вакцина против гепатита В, созданная путем конструирования гибридных вирусов, будет значительно дешевле имеющихся коммерческих вакцин. Кроме того, в отличие от них, новая вакцина более стабильна и, следовательно, ее значительно легче распространять в те районы земного шара, где ведется борьба с гепатитом В.

Proceedings of the National Academy of Science of USA, 1984, v. 81, № 1, p. 193—197 (США).

Молекулярная биология

Переносчики генов для растений

Некоторые патогенные бактерии вызывают у растений рак. При заражении бактерии передают клеткам растений Тi-плазмиды (от англ. tumor-inducing), т. е. свои внехромосомные генетические элементы, которые встраиваются в хромосомы растения и вызывают изменения в работе их генетического аппарата. Кроме того, клетки растений становятся способными синтезировать новые вещества, например ополани, информация о синтезе которого закодирована в ДНК Тi-плазмиды.

Эти свойства Тi-плазмид были использованы четырьмя группами исследователей из Вашингтонского университета (США), компании «Монсанто» (Сент-Луис, США), Института селекции растений им. М. Планка (Кельн, ФРГ) и Государственного университета в Генте (Бельгия). Применялся один и тот же подход. Для введения чужеродных генов были сконструированы новые Тi-плазмиды, несущие сращенные гибридные гены. Успех экспериментов определялся тем, что чужеродные гены были подключены к регуляторным сигналам, запускающим синтез природной ополанинсинтетазы Тi-плазмиды. Для первых опытов использовались бактериальные гены, определяющие устойчивость к антибиотикам — канамицину, метотрексату и хлорамфениколу. Это позволило легко проследить их судьбу: встраиваясь в геном клеток растений, эти гены придадут клеткам свойства, которые ранее им не были присущи. Неудачи всех предыдущих попыток пересадки генов растениям, по-видимому, объясняются тем, что гены переносились с собственными регуляторными элементами, которые не узнавались клеточным аппаратом растения.

Можно ли вырастить из таких клеток целое растение? Если использовать природные Тi-плазмиды, или, как их еще называют, плазмиды дикого типа, то переход нормальных клеток в опухолевые необратим. Однако можно изменить Тi-плазмиды так, что после введения их получают клетки, способные давать нормальное растение. Если будет показано, что такие измененные Тi-плазмиды также могут перенести чужеродные химерные гены, это откроет новую эпоху в генетической инженерии растений. Станет возможным выращивать растения, обладающие совершенно новыми свойствами: например, необходимым составом белков, устойчивостью к засухе и другим неблагоприятным факторам, способностью к фиксации атмосферного азота и многим другим.

Science, 1983, v. 219, № 4586, p. 830 (США).

Молекулярная биология

Иммобилизованные микроорганизмы синтезируют проинсулин

Все чаще белки для медицины, сельского хозяйства и пищевой промышленности получают с помощью генной инженерии. Особенно эффективен такой подход, когда клетки продуценты фиксируют на нерастворимом матриксе (иммобилизуют) и используют в непрерывном проточном цикле. Перспективным представляется опыт использования таких иммобилизованных бацилл (*Bacillus subtilis*) для получения проинсулина — предшественника полипептидного гормона инсулина.

Исследователи из отдела теоретической и прикладной биохимии Университета г. Лунда (Швеция) и компании «Биоген» (Женева, Швейцария) использовали клетки *B. subtilis*, несущие плазмиду рСВ 6; предварительно в состав плазмид был включен фрагмент гена проинсулина крысы размером 350 пар оснований ДНК. Клетки микроорганизмов закрепляли на гранулах агарозы. Необходимо было предотвратить деление клеток, поскольку образовавшиеся при делении бациллы начинали расти вне гранул, что затрудняло дальнейшие процедуры. Поэтому в среде, содержащей иммобилизованные клетки, добавляли антибиотик новобиоцин (очень низкой концентрации), который подавлял репликацию ДНК и клеточное деление, но не влиял на синтез белка. Деления клеток в результате не происходило, в то время как синтез проинсулина и его освобождение в среду оставались на постоянном уровне в течение нескольких суток. Было получено 7—10 нг проинсулина на миллилитр среды, что соответствовало 9000—13 000 молекул в расчете на клетку.

При получении сходным способом другого важного полипептидного продукта — α_2 -интерферона для предотвращения деления клеток *B. subtilis* опять эффективно применяли новобиоцин. Но оказалось, что в этих

целях можно использовать и другие антибиотики: надоксиковую кислоту и 6-р-оксифенилазоурацил.

Nature, 1983, v. 302, p. 543—545 (Великобритания).

Молекулярная биология

Бактерии защищают от обледенения

Обледенению растений на морозе часто способствуют бактерии. Но если популяцию бактерий, живущих на поверхности растения, изменить, подействовав антибиотиками, растение не обледенеет даже при температуре ниже -10°C .

С. Линдау и Н. Панопулос (S. Lindow, N. Panopoulos; отделение патологии растений Калифорнийского университета, Беркли, США) обнаружили, что наиболее часто образование льда вызывают бактерии: псевдомонада (*Pseudomonas syringae*) и эрвиния (*Erwinia Herbicola*). Они катализируют появление зародышей кристаллов льда уже при $-1,8^\circ\text{C}$. Центрами кристаллизации служит только небольшая часть бактерий, и за этот эффект отвечает вполне определенный белок. Кодировущий его ген был выделен в 1982 г. и после пересадки в обычную кишечную палочку заработал и там¹.

Следующим этапом в работе была попытка избавиться от этого гена в исходных бактериях. Если затем такими «модифицированными» бактериями обработать растения, то они вытеснят свои природные аналоги, способные катализировать кристаллизацию льда, и придадут тем самым растению повышенную морозостойкость.

В апреле 1983 г. Консультативный комитет по рекомбинантным ДНК при Национальном институте здоровья США одобрил проведение полевых испытаний в начале 1984 г. в районе оз. Тулан (Калифорния). Другими словами, впервые было разрешено выпустить в

природную среду микроорганизмы, созданные генными инженерами. Однако подобное решение вызвало волну протеста научной общественности. Дискуссия о возможности использовать бактерии для защиты растений от заморозков продолжается, а эксперименты по их применению в природе решено отложить до 1985 г.

Nature, 1983, v. 305, p. 262; p. 564 (Великобритания).

Молекулярная биология

Перспективы лечения эмфиземы легких

Группа бельгийских исследователей методом генной инженерии добилась синтеза кишечной палочкой ингибитора протеаз — α_1 -антитрипсина.

Как известно, протеазы, или α_1 -ферменты, катализируют расщепление пептидных связей. Главным образом протеазы секретируются клетками белой крови. Среди многих видов белков, циркулирующих в плазме крови, есть и ингибиторы протеаз. Они защищают ткани организма, а также некоторые белки плазмы от действия протеаз. Отсутствие или снижение уровня таких ингибиторов в крови может стать причиной ряда заболеваний.

Одним из главных ингибиторов протеаз является α_1 -антитрипсин. Он тормозит действие эластазы, которая «переваривает» эластин — главную составную часть соединительной ткани. Синтезируется α_1 -антитрипсин клетками печени, откуда он диффундирует в кровоток и, находясь там, защищает от действия эластазы различные ткани. Особенно важна деятельность α_1 -антитрипсина в легких. Отсутствие его в этих органах может стать причиной тяжелых для здоровья изменений легочной ткани и привести к ненормальным расширениям легочных альвеол (эмфиземе легких).

Обнаружено, что в генетическом аппарате клеток больных эмфиземой легких ген, отвечающий за синтез α_1 -антитрипсина, несет в себе мутацию.

¹ Omer C. G. et al. — *Phytopathology*, 1982, v. 72, p. 1000.

Частота таких мутаций бывает исключительно высока (у жителей Северной Европы она достигает 1 на 5000 человек). Не следует думать, конечно, что причина всех легочных эмфизем заключается в изменении гена α_1 -антитрипсина; тем не менее все формы эмфиземы легких связаны с дисбалансом между эластазами и их ингибиторами. Попытки лечения эмфиземы легких путем введения α_1 -антитрипсина дали обнадеживающие результаты. Однако широкому использованию препарата мешает то обстоятельство, что получают его из крови людей, где его содержится весьма мало.

А. Боллен с сотрудниками (A. Bollen; лаборатория генетики Брюссельского университета, Бельгия) выделили участок ДНК, кодирующий синтез α_1 -антитрипсина в клетках печени человека, и с помощью специальной плазмиды ввели его в геном кишечной палочки, после этого бактерия стала вырабатывать белок. Его свойства сравнили со свойствами α_1 -антитрипсина, полученного из плазмы крови. Анализ показал высокое структурное подобие двух белков.

Полученные данные позволяют надеяться, что с помощью методов генной инженерии можно будет производить достаточные количества α_1 -антитрипсина.

DNA, 1983, v. 2, № 4, p. 255—264; American Review of Respiratory Diseases, 1983, № 127, p. 45—46 (США).

Биофизика

Дефекты ДНК при наследственных заболеваниях

Сохранение целостности макромолекулы ДНК имеет решающее значение для выживаемости клетки. Повреждения ДНК — это либо разрыв цепи, либо потеря или химическая модификация нуклеиновых оснований под действием химических агентов, физических воздействий окружающей среды или в результате каких-либо нарушений в процессах метаболизма в организме. Поэтому клетки содержат наборы фер-

ментов (так называемые репарационные системы), которые восстанавливают повреждения в ДНК.

Группа сотрудников Института химической физики АН СССР и 2-го Московского медицинского института им. Н. И. Пирогова исследовала возникновение дефектов в структуре ДНК у людей с наследственными заболеваниями, сопровождающимися нарушениями репарации ДНК. (К подобным заболеваниям относятся атаксия-телеангиэктазия, анемия Фанкони, прогерия, синдром Дауна и некоторые другие.) У таких больных наблюдается резко повышенная склонность к развитию злокачественных опухолей в молодом возрасте, симптомы преждевременного старения, неврологические расстройства и т. д.

В опытах выделяли ДНК из лимфоцитов периферической крови больных и здоровых людей. По изменению оптической плотности растворов ДНК определяли изменения со временем степени спиральности молекулы ДНК, затем оценивали число дефектов в структуре этих молекул. В препаратах здоровых людей дефектов в структуре ДНК не обнаружено. У больных с атаксией-телеангиэктазией, анемией Фанкони и прогерией число обнаруживаемых дефектов составило от 1 до 18 на 10 тыс. пар оснований. Характерно, что у части родителей больных детей также обнаружены дефекты в структуре ДНК, хотя таких дефектов у родителей в среднем меньше, чем у детей. В группе больных с синдромом Дауна вклад дополнительных разрывов в общее число дефектов в структуре ДНК достигает не более 10—15%. Для большинства больных, у которых число дефектов в структуре ДНК было больше чем 1,8 на 10 тыс. пар оснований, наблюдается наследственная склонность к онкологическим заболеваниям.

Полученные результаты показывают, что нарушения процессов репарации ДНК могут приводить к накоплению в ДНК дефектов структуры. По мнению авторов работы, процесс образования дефектов может быть связан как с воздействием ес-

тественных мутагенных факторов, так и с повышенной неустойчивостью генома.

Доклады АН СССР, 1983, т. 271, № 5, с. 1250—1253.

Биофизика

Электрофорез и систематика

В настоящее время большое внимание специалистов привлекает проблема надежного определения видовых и внутривидовых различий. Известны трудности и нередки ошибки, связанные с группировкой организмов по видам и подвидам на основании только морфологических признаков. Поэтому морфологическую систематику полезно сочетать с биохимической, применяя такие высокоэффективные методы исследования, как электрофорез или изучение изоферментов (различных форм ферментов, обладающих одинаковым механизмом действия, но различающихся рядом физико-химических свойств, в том числе электрофоретических).

Р. К. Андерсон (R. C. Anderson; лаборатория рыбных промыслов, Лоустофт, Англия) провел сравнительное изучение ряда антарктических рыб с помощью весьма эффективной разновидности электрофореза — метода изоэлектрического фокусирования, который позволяет осуществлять весьма тонкое фракционирование даже близких форм ферментов. Исследовались *Nothothenia rossii*, *N. neglecta*, *N. gibberifrons*, *Chaenocephalus aceratus*, имеющие важное промысловое значение.

Были выявлены четкие различия между белками различных видов. Идентифицировано шесть ферментов, кодирующихся в десяти генных локусах. Вычисление коэффициентов генетической близости видов показало, что в данном случае таксономия, основанная на морфологических признаках, не ошиблась. Генетическая вариабельность изученных видов соответствует значениям, полученным

для других антарктических рыб. Установлено также, что два фермента (фосфоглюкомутаза и глюкозофосфатизомераза) обладают значительной полиморфностью.

Аналогичные данные получены японскими исследователями Т. Охамой и др. (Т. Охаме; Университет в Нагое и Медицинская школа в Соге), которые с помощью электрофоретического разделения веществ в полиакриламидном геле в сочетании с химической обработкой и ступенчатым ферментативным гидролизом изучали различия между популяциями и видами пресноводных и морских планарий, а также губок, кишечнополостных и моллюсков.

Особенно перспективны подобные исследования, если электрофорез сочетается с методами, позволяющими разделять варианты ферментов, которые различаются не только поверхностным зарядом молекулы, но и другими свойствами, связанными с заменой в молекуле белка одной аминокислоты на другую.

Animal Blood Groups and Biochemical Genetics, 1982, v. 13, № 1, p. 11—13 (Нидерланды);

Nuclear Acids Research, 1983, v. 11, № 2, p. 473—476 (Великобритания).

Медицина

Хронофармакология антибиотиков

Исследования, выполненные в последние два десятилетия, накопили достаточно фактов, показывающих, что эффективность действия лекарств согласуется с биологическим ритмом организма. На протяжении суток меняются интенсивность многих его функций: деятельность нервной, гормональной, сердечно-сосудистой систем и пр. До сих пор фармакологи этих обстоятельств не учитывали.

Группа исследователей во главе с К. Париа (С. Pariat; лаборатория фармакодинамики Отделения медицины и фармации, Пуатье, Франция) изучили токсическое действие двух антибиотиков из группы аминогликозидов — гентамицина и ди-

бекацина, которые широко используются для лечения инфекционных заболеваний, вызванных бактериями. Работа проводилась на мышках, которым антибиотики вводились в различные время суток в весьма высоких дозах. Наблюдение за животными после введения им лекарств продолжалось в течение 10 дней. Токсичность вводимых препаратов определяли по гибели животных. Было установлено, что токсичность применяемых антибиотиков изменялась в течение суток: максимум ее падал на светлое время дня, а минимум приходился на ночной период. Это может быть объяснено суточными изменениями в метаболических процессах организма животных.

Значение данных, полученных французскими авторами, весьма высоко. Их использование поможет составить более эффективные схемы лечения обонми антибиотиками инфекционных заболеваний.

Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences, 1983, v. 297, Ser. III, № 11, p. 527—530 (Франция).

Биохимия

Ген ДНК-лигазы бактериофага Т4

Вирусы, способные проникать в бактериальные клетки и заражать их, получили название бактериофагов. Один из хорошо изученных «пожирателей» клеток *E. coli* — бактериофаг Т4. Его линейная двухцепочечная молекула ДНК содержит ген (так называемый ген 30), который кодирует биосинтез ДНК-лигазы — фермента, восстанавливающего разрывы одной из цепей ДНК. С помощью этого фермента получают рекомбинантные молекулы ДНК, а также проводят синтез искусственных генов.

Группа исследователей под руководством А. А. Беева (Институт молекулярной биологии АН СССР, Институт биохимии и физиологии микроорганизмов АН СССР, Всесоюзный научно-исследовательский

институт прикладной энзимологии, Вильнюс) расшифровала нуклеотидную последовательность гена 30 и полную первичную структуру ДНК-лигазы бактериофага Т4. Полипептидная цепь ДНК-лигазы состоит из 436 аминокислотных остатков с молекулярной массой 49 330 дальтон и содержит повышенное количество остатков основных аминокислот, что характерно для ДНК-связывающего белка.

Знание первичной структуры гена 30 позволяет получать ДНК-лигазу в неограниченном количестве с помощью специально сконструированных штаммов бактериофага Т4.

Доклады АН СССР, 1983, т. 270, № 6, с. 1495—1500.

Биохимия

Коллаген, возраст и сердце

В последнее время для выяснения причин и механизмов развития сердечно-сосудистых заболеваний интенсивно ведутся исследования биохимии сердечной мышцы, молекулярных основ действия лекарственных препаратов и гормонов на сердечную мышцу и сосуды. Особый интерес вызывает белок коллаген — важный компонент сосудистой стенки; он играет основную роль во взаимодействии сосудов с тромбоцитами, вызывая образование тромбов на сосудистой стенке. Весьма существенно, что коллаген подвержен значительным возрастным изменениям — в результате сосуды теряют механическую эластичность. Кроме того, известно, что атеросклеротические бляшки на 30 % состоят из коллагена.

Группа биофизики Института терапии Сибирского отделения АМН СССР совместно с лабораторией радиоспектроскопии Института неорганической химии Сибирского отделения АН СССР получили новые данные о структуре гидратной оболочки коллагена и о механизме его структурных изменений при старении. Выяснено, что в структуре коллагена при определенных концентрациях

адреналина в крови появляются поврежденные участки с нарушенными спиральными макромолекулы белка.

Большое значение имеет также изучение комплексобразования коллагена с хромом. В последнее время появились сообщения о том, что в областях, где атеросклероз встречается редко, у людей повышено содержание хрома в тканях, а у лиц, умерших от атеросклероза или его осложнений, хром в тканях аорты, наоборот, отсутствует. И это несмотря на широко известные ядовитые свойства соединений хрома.

Для изучения динамики содержания тяжелых элементов в атеросклеротических бляшках начаты совместные исследования Института терапии СО АМН СССР и Института ядерной физики СО АН СССР. Предполагается, что концентрация некоторых тяжелых элементов в атеросклеротических бляшках и в здоровой ткани существенно различны; отсюда прямой путь к рентгеномографической съемке срезов атеросклеротических бляшек.

Наука в Сибири, 1983, № 26, с. 7.

Биохимия

Модель спорообразования у микробов

А. Л. Марголин с соавторами (Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова) установили, что ферменты, включенные в полиэлектронитные комплексы переменного состава, способны обратимо переходить из раствора в осадок. Подобные фазовые превращения используются для регуляции ферментативной активности.

Исследовалось изменение термостабильности фермента пенициллинамидазы, когда величина рН раствора менялась вблизи точек фазовых переходов. Оказалось, что при рН ниже 2,8 и выше 6,0 (точки фазовых переходов исследуемого комплекса) комплекс с включенной в него пенициллинамидозой существует в виде гомоген-

ного раствора, а в области значений рН 2,8—6,0 — в виде осадка. При небольших отклонениях рН от точек фазовых переходов термостабильность фермента существенно повышалась. В осадке стабилизированный фермент оказывается внутри частицы нерастворимого комплекса; для нее характерна высокая плотность распределения сегментов комплекса, повышенная жесткость и меньшее содержание воды. В результате устойчивость белковой глобулы внутри комплекса существенно повышается по отношению к различным воздействиям, вызывающим ее разворачивание (денатурацию).

Ранее теми же авторами было установлено, что активность пенициллинамидазы понижается при образовании осадка, а затем полностью восстанавливается при его растворении.

По мнению авторов, подобный механизм, регулирующий стабильность белков, действует в клеточных мембранах, в которых при небольшом изменении величины рН происходят значительные конформационные изменения и фазовые переходы.

Рассмотренная система может служить, по мнению авторов, моделью процесса спорообразования — одного из важнейших защитных механизмов микробных клеток в ответ на неблагоприятные изменения окружающей среды. При образовании споры фермент, как и в случае рассмотренной модельной системы, попадает в совершенно иное окружение. Новая среда характеризуется более низким значением рН, уменьшением содержания воды и существенным увеличением концентрации низко- и высокомолекулярных электролитов. Термостабильность ферментов, находящихся в споре, значительно повышается, а уровень их активности, наоборот, снижается. При устранении неблагоприятного воздействия среды спора прорастает, внутреннее окружение ферментов изменяется, их активность возрастает, а термостабильность снижается до прежнего уровня.

Таким образом, создание биокаталитических систем со стабильностью и активностью,

регулируемыми путем простого смешивания синтетических электролитов, позволяет глубже понять процессы в живой клетке.

Доклады АН СССР, 1983, т. 272, № 1, с. 230—233.

Биохимия

Еще один нейроспецифический белок из мозга человека

Т. П. Ключник и Г. Ш. Бурбаева (Институт клинической психиатрии Всесоюзного научно-го центра психического здоровья АМН СССР) с помощью электрофоретических и хроматографических методов выделили из экстрактов водорастворимых белков человеческого мозга новый нейроспецифический белок. Авторы обозначили его как белок 10—40—4 (по номеру хроматографической фракции, из которой он выделен).

Молекулярная масса белка составляет 74 тыс. дальтон. В среднем из 1 г сырой ткани удалось получить 75 мкг этого белка. Он не содержит углеводов компонентов. По своим физико-химическим свойствам белок 10—40—4 отличается от уже известных нейроспецифических белков. По мнению авторов работы, белок 10—40—4, будучи цитоплазматическим белком, входит также в состав белкового триплета нейрофиламентов — нитевидных образований в цитоплазме нейрона.

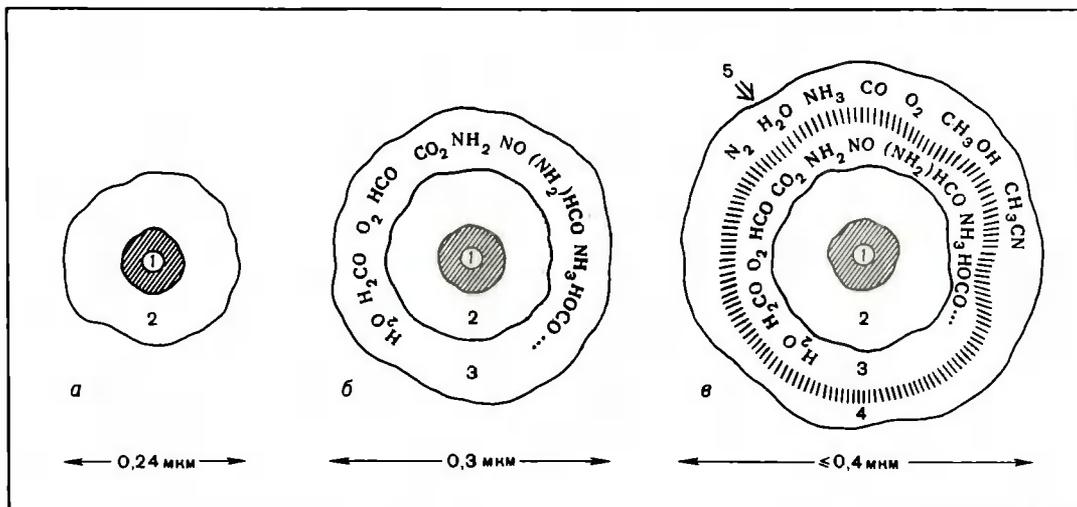
Поскольку в экстрактах белков различных органов и сыворотки крови человека новый белок не обнаружен, был сделан вывод о его специфичности для нервной ткани.

Биохимия, 1983, т. 48, № 7, с. 1203—1208.

Биохимия

«Строительные блоки» жизни — из космоса!

Идеи об образовании органических соединений на поверхности космических тел — на



Схематическое изображение поперечного сечения пылинок и их мантий, формирующихся в различных областях межзвездной среды: а — пылинки в диффузных облаках [1 — силикатное ядро, 2 — мантия из труднолетучих органических соединений]; б — пылинки в молекулярных облаках [1, 2 — то же, 3 — облученная внешняя мантия]; в — пылинки около протозвездных объектов [1 — 3 — то же, 4 — необлученные аккрецировавшие атомы и молекулы, 5 — инфракрасный источник].

метеоритах, кометах, космических пылинках — высказывались давно. Но могут ли в действительности такие достаточно сложные соединения формироваться и сохраняться в условиях космического холода и вакуума? Ответ на этот вопрос экспериментально был получен Дж. М. Гринбергом с сотрудниками (J. M. Greenberg; Астрофизическая лаборатория Лейденского университета, Нидерланды).

Установка состояла из гелиевого криостата, обеспечивавшего температуру около 10 К в условиях вакуума. Замороженная смесь летучих молекул CH_4 , CO , H_2O , CO_2 , NH_3 , O_2 , N_2 при одновременном ультрафиолетовом облучении и без облучения осаждалась на поверхности минеральных пылинок размером в доли микрона, а затем проводилось исследова-

ние получившихся соединений с помощью масс-спектрографов, а также изучение спектров поглощения в видимом, ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах.

Выяснилось, что во время облучения пылинок возникают все более и более сложные молекулы. Так, образуются и хорошо сохраняются карбоксильные группы кислот, аминогруппы, $-\text{CH}_3$ - и $-\text{CH}_2$ -группы, а также соединения типа $\text{C}_4\text{H}_6\text{N}_2$ и следы мочевины. Могут образовываться многослойные оболочки из соединений достаточно сложного состава.

Итак, сложные органические молекулы в межзвездном пространстве формируются и находятся в микроскопических замороженных межзвездных пылевых частицах. На типичной пылевой частице, имеющей возраст, примерно равный возрасту Земли, большая часть содержащегося в оболочке кислорода, азота и углерода превращается в результате фотохимических процессов в крупные органические молекулы, максимальные молекулярные массы которых ограничиваются лишь размером пылинки (около 0,1 мкм). Максимальный возраст пылевых частиц ограничен, поскольку вся межзвездная материя «обновляется» каждые 5 млрд лет при рождении звезд¹, однако в течение этого времени каждая пылинка входит и выходит из плотного молекулярного облака

около 20 раз. Поэтому типичная межзвездная пылинка имеет долгую фотохимическую историю.

Полученные данные могут частично объяснить удивительно быстрое появление жизни на Земле: планета образовалась 4,5—4,2 млрд лет назад, а уже 3,83 млрд лет назад на ней видны явные следы жизни. Подсчеты показали, что за время прохождения Земли через среднее типичное пылевое облако (всего 100 000—1 000 000 лет) на поверхность планеты могло осесть 10^8 — 10^{10} т органического вещества, что значительно превосходит современную биомассу Земли. Метеориты и кометы могли бы доставить еще большие количества материала, но они падают на Землю с сильным разогревом или со взрывом, разрушающими органические соединения. Микроскопические пылинки благодаря «мягкой посадке» на поверхность планеты могут доставлять строительные блоки будущих молекул в неповрежденном виде.

Доклады XXVII Международного геологического конгресса. Т. 19, «Сравнительная планетология», М., 1984, с. 110—119.

¹ Подробнее см.: Марочник Л. С. Исключительно ли положение Солнечной системы в Галактике? — Природа, 1983, № 6, с. 30.

Научение человека при отсутствии коры головного мозга

Группа американских нейрофизиологов и невропатологов во главе с Дж. Бернтсоном (J. J. Berntson; Университет штата Огайо, Колумбус, США) сообщила о результатах исследования пятерых детей в возрасте от 1 месяца до 4,5 лет с тяжелыми врожденными пороками развития — полным отсутствием коры больших полушарий, а также значительным разрушением нижележащих ядер головного мозга, в частности таламуса.

У четырех испытуемых из пяти нейтральный по своим характеристикам раздражитель (звук или свет) вызывал четкую реакцию: в начале замедление, а затем ускорение частоты пульса. У трех из них многократное повторение стимула вело к постепенному угасанию реакции. Это явление, по современным представлениям, отражает процесс «усвоения» стимула, т. е. простейшую форму научения: не реагировать на индифферентный раздражитель.

Этим же трем испытуемым предъявляли серию спаренных раздражителей (звук-звук или свет-свет, в зависимости от того, к какому раздражителю они более чувствительны). Периодически второй стимул пропускали, и такой пропуск вызывал реакцию, отличную от других: резкое учащение пульса без фазы замедления. Это указывает на формирование элементарной условной связи между двумя стимулами, на построение простейшей «нервной модели», которая дает возможность ожидать появления второго стимула после первого. Многократное чередование серий парных раздражителей с проверочными непарными позволило статистически доказать достоверность реакций этих трех испытуемых на пропуск второго стимула в паре раздражителей.

Возможность простейшего научения в данных случаях не связана с сохранением каких-либо участков коры: напротив,

двое из числа этих трех индивидов имели наиболее массивные разрушения коры больших полушарий. Таким образом, впервые получены данные о возможности элементарных форм научения у человека без участков коры больших полушарий. Ранее считалось, что выработка условных связей в таких условиях возможна только у животных, мозговые функции которых в меньшей степени сконцентрированы в коре.

Результаты, полученные группой Бернтсона, продемонстрировали большие, нежели полагали до сих пор, возможности нижележащих отделов мозга человека.

Experimental Neurology, 1983, v. 81, № 1, p. 77—88 (США).

Этология

Индивидуальные навыки у птиц

В последние годы все чаще появляются сообщения этологов о таких фактах, которые невозможно объяснить в рамках привычных представлений о поведении животных. Ранее считали, например, что у птенца к моменту вылупления уже существует сложившийся образ родителей и для использования заложенных знаний об их характерных чертах никакого обучения не требуется. Однако птенцы дуплогнезников, по наблюдениям С. Н. Хаютина и Л. П. Дмитриевой, начинают реагировать после появления на свет не только на сигналы родителей, но и на простые, неспецифические стимулы (в первую очередь, звуковые); способность же распознавать родителей улучшается в результате тренировки (самообучения)¹. О подобных фактах в своей статье

с достаточно оригинальным названием: «Как птицы обучаются инстинктивному поведению»².

Но если даже для «простейших инстинктивных» реакций необходима тренировка, то возможности индивидуального обучения взрослых птиц (т. е. самостоятельного приобретения навыков, адекватных нестандартным условиям) могут быть просто удивительны. Например, необычное поведение грачей, живущих в птичнике, где струйкой стекала по полу вода из расположенного рядом аквариума, наблюдал Дж. Рейд³. Поначалу он заметил, что отверстие стока в полу птичника, которое он оставил открытым, в его отсутствие кто-то постоянно закрывает. Незаметно наблюдая за птицами, он обнаружил, что самый молодой из четырех грачей берет в клюв металлическую пробку за кольцо и бросает ее прямо в отверстие стока, после чего всякий раз четырежды клюет затычку, как бы задирая ее глубже. Как только лужица на дне прибывала, остальные птицы присоединялись к молодому грачу и плескались в воде.

Поместив в этот птичник, имевший шесть отверстий в полу, еще пять пробок, Рейд продолжал наблюдения. Грачи постоянно придвигали пробки к отверстиям, но затыкали ими только два слива, через которые действительно могла вытекать вода. Особенно активно они действовали таким образом в жаркую сухую погоду: накапывали целый «бассейн» воды, жадно пили из него и не переставали купаться.

Это первый известный в орнитологии случай столь целенаправленного использования предметов у грачей. Подобные примеры пока трудно включить в стройную научную систему, однако это ничуть не снижает ценности таких наблюдений.

В. М. Карцев

Москва

¹ Хаютин С. Н. Некоторые проблемы онтогенеза поведения. — В кн.: Теоретические проблемы современной биологии. Пушино, 1983, с. 58.

² Хейлмен Дж. Как птицы обучаются инстинктивному поведению. — В кн.: Птицы. М., 1983, с. 137.

³ Reid J. — *Animal Behaviour*, 1982, v. 30, p. 1212.

Зоология

«Диалекты» тюленьего языка

Тюлени Уэдделла (*Leponychotes weddelli*), как и многие другие виды морских животных, населяющих антарктические воды, применяют для охраны своей территории и привлечения брачного партнера звуковую сигнализацию. Известны два стада тюленьей Уэдделла: одно обитает в водах, омывающих Антарктический п-ов, на стыке Атлантики с Тихим океаном, другое — в проливе Мак-Мердо (море Росса), по другую сторону южнополярного материка. Наблюдения, проведенные зоологами Ж. Томас (J. Thomas; Институт изучения моря им. Хабса в Сан-Диего, штат Калифорния, США) и А. Стирлингом (I. Stirling; Служба охраны животного мира Канады), показали, что два этих стада пользуются различными «диалектами».

Тюлени из популяции, обитающей в районе Антарктического п-ва, издают 21 вид звуков, а принадлежащие к популяции из пролива Мак-Мердо — 34 звука. У каждой популяции есть присущие только ей звуковые сигналы; те же звуки, которые известны обеим популяциям, различаются по тону и продолжительности (у тюленьей из района Антарктического п-ва звуки более низкого тона и меньшей продолжительности). Тюлени пролива Мак-Мердо не издают ряда наиболее сложных комбинаций звуковых сигналов, характерных для другой стада. Чаще всего это сигналы, в которых первый звук издается с падением тона, а второй — с его повышением; или же сигналы, содержащие две фазы, каждая из которых, в свою очередь, состоит из серии повторяющихся импульсов, причем в первой фразе звуки издаются с замедлением, а во второй — с ускорением.

Известно, что тюлени приобретают «язык» главным образом путем обучения и подражания. Если в их «лексиконе» появляется новый звуковой сигнал, животные одно за дру-

гим осваивают его, и он закрепляется. Поскольку стада тюленьей Уэдделла живут изолированно на значительном расстоянии, в их «языке» и возникают «диалекты».

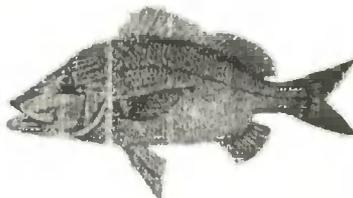
Canadian Journal of Zoology, 1984, v. 61, № 10, p. 2203 (Канада).

Экология

Симбиоз рыб и кораллов

Дж. Мейер, Э. Шульц и Дж. Хелфман (J. L. Meyer, E. T. Schultz, G. S. Helfman; США) провели длительные наблюдения в Карибском море на коралловом рифе у о-ва Санта-Крус (Виргинские о-ва). Изо дня в день следили они за поведением стайки рыб из семейства ворчунковых: желтополосой ронки (*Haemulon flavolineatum*) и обыкновенной ронки (*Haemulon plumieri*) — обычных промысловых рыб Карибского моря и Мексиканского залива. Молодые рыбы (3—12 см длиной) покидают риф на закате и отправляются на морские луга кормиться беспозвоночными, прячущимися в траве. К рассвету они возвращаются, чтобы укрыться на день среди кораллов. Рыбы идут каждый раз по одним и тем же путям и днюют у одного и того же кораллового «куста». Стайку ронок под одной колонией кораллов наблюдали более трех лет! За день ронки полностью переваривают съеденную ночью пищу и опорожняют желудки прямо на рифе. Исследователи брали пробы воды возле спокойно спавших рыб и обнаружили, что содержание ионов аммония здесь в 4,5 раза выше, чем на соседней колонии кораллов, где рыб не было.

Наблюдения в аквариуме и измерение роста рыб в природе позволили рассчитать бюджет азота и фосфора для колоний кораллов, где жили ронки. В колонии поритеса (*Porites furcata*), где биомасса обитавших рыб составляла 39 г (в сухом весе) на 1 м², аммиачного азота было на 30 % больше по сравнению с безрыбной колонией кораллов, а взвешенного органического азота и фосфора — соответственно больше на 41 и 68 %. Для колонии лапча-



Ронки: желтополосая (вверху) и обыкновенная.

той акропоры (*Acropora palmata*), где биомасса рыб была в 4,5 раза больше (172 г/м²), эти величины повышались соответственно до 48, 59 и 94 %. Таким образом, количество биогенных продуктов увеличивалось в 1,5—2 раза. Коралл реагирует на добавку ускорением роста. Наблюдения в течение года показали, что кораллы, населенные рыбами, застут в 1,7 раза быстрее. Для проверки вывода исследователи выловили всех рыб из-под одной колонии и проследили ее рост еще на протяжении 8 месяцев — природ замедлился на 45 %.

Одним из главных поставщиков азота в экосистеме кораллового рифа являются азотфиксирующие синезеленые водоросли (цианобактерии), а другим оказались рыбы: они ежедневно доставляют кораллам 30—75 % того количества азота, которое вводят в экосистему на той же площади цианобактерии.

Итак, кораллы предоставляют рыбам кров не бескорыстно.

Science, 1983, v. 220, № 4601, p. 1047 (США).

Геология

Проблемы освоения океанских сульфидных РУА

В последние годы открыт целый ряд сульфидных рудо-

проявлений на океанском дне. Происхождение их связано с гидротермальной активностью в зонах быстро раздвигающихся спрединговых центров (скорость раздвижения дна более 5 см в год). Наиболее изучены сульфидные отложения на Восточно-Тихоокеанском поднятии к северу от Галапагосского рифта. Многократные спуски на обитаемых подводных аппаратах позволили зафиксировать отложения на глубинах до 2600 м в разных формах: холмы, куполообразные надстройки и трубы, корки, налеты и т. д. Меньше данных о составе этих отложений, его вариациях в различных точках дна; вовсе отсутствуют данные о регулярности, мощности и продуктивности таких отложений. Поэтому оценка экономических перспектив освоения сульфидных руд весьма неопределенна. По некоторым сведениям, добыча металлов из сульфидных руд значительно выгоднее, чем из железо-марганцевых конкреций¹. При этом авторы учитывают относительную легкость поиска отложений, приуроченных к линейным структурам подводных хребтов, меньшие глубины их залегания и простоту выделения из них металлов. Однако для экономической оценки целесообразности добычи сульфидных руд решающее значение имеют такие факторы, как качество (цена за тонну), размер залежи (тоннаж), простота освоения, правовые нормы и т. д. Большинство из них пока неизвестны. Визуальные наблюдения не подкреплены фактическими данными. Неизвестна твердость пород и распространение отложений на глубину; а потому неясно, могут ли они просто драгироваться или потребуют бурения и подрывных работ.

На этом фоне авторы приводят сравнительную оценку сульфидных отложений из трех пунктов Восточно-Тихоокеанского поднятия; все они расположены вблизи побережья, в пределах 200-мильных зон Эквадора, Мексики и Канады.



Сульфидные рудопроявления, открытые на Восточно-Тихоокеанском поднятии при спусках на обитаемых подводных аппаратах (точки) и встреченные в кернах скважин глубоководного бурения (точки с буквенно-цифровым обозначением). Стрелками показано направление спрединга в осевых зонах поднятия.

Предполагается, что наибольших размеров отложения достигают на Галапагосском спрединговом центре (0° ю. ш.). По визуальным наблюдениям, они сложены массивными сульфидными трубами высотой 3—4 м и встречаются на протяжении 2 км. Эти отложения, при средней удельной плотности сульфидов 2,5 г/см³, оцениваются примерно в 20 млн т. Главный компонент их химического состава — сульфид железа (пирит), меди содержится около 5 %, цинка — 0,14 %. Это наименее ценные руды, их стоимость 73 долл. за тонну.

Отложения на 21° с. ш. представлены относительно древними неактивными холмами, расположенными к северо-западу от активного поля. Они слишком малы для выгодной добычи, хотя содержание цинка в трех из пяти исследованных проб составляет от 20,3 до 41,8 %, а меди — от 0,23 до 1,3 %; две другие пробы бедны металлами.

Высоким содержанием цинка (46,9—61,0 %) характеризуются две пробы массивных

сульфидов с хребта Хуан-де-Фука. Однако размер этих залежей пока неясен.

Средняя стоимость богатых цинком отложений из двух последних районов оценивается в 338,06 долл. за тонну. В то же время, по приводимым авторами данным, стоимость металлов, содержащихся в одной тонне железо-марганцевых конкреций в рудной провинции Кларифтон-Клиппертон (Тихий океан), составляет 181,76 долл. Она суммируется из стоимости меди, никеля, кобальта, и в этом случае оценка более объективна, поскольку известны многие факторы экономического освоения конкреций.

Таким образом, экономическая оценка сульфидных отложений пока имеет лишь качественный характер: она сделана на одиночных пробах, при этом не учитываются ни продуктивность отложений, ни относительная цена добычи. По-видимому, излишний оптимизм в перспективах освоения сульфидных руд пока не оправдан. Необходимы детальные разведочные работы. Судя по приведенным материалам, железо-марганцевые конкреции по-прежнему заслуживают большого внимания: цена получаемых из них металлов достаточно высока даже по сравнению с лучшими сульфидными рудами.

Е. С. Базилевская, кандидат геолого-минералогических наук
Москва

¹ Bischoff J. I., Rosenbauer R. J. et al. — Economic Geology, 1983, v. 78, № 8, p. 1711.

Геология

Первое геологическое описание о-вов Диего-Рамирес

Во время антарктического рейса научно-исследовательского судна Национального научного фонда США «Херо» группа геологов из Геологической обсерватории Ламонта и Дозерти (Палисейдс, США) совместно с коллегами из Великобритании и Чили впервые провели геологическое обследование о-вов Диего-Рамирес — небольшого архипелага, лежащего примерно в 100 км южнее мыса Горн.

Острова имеют вулканическое происхождение. Они целиком сложены базальтовыми пиллоу-лавами, потоки которых иногда перемежаются с горизонтами кремней, темно-серых глин и сильно деформированных вулканогенно-обломочных пород.

Исследователи считают, что о-ва Диего-Рамирес — это выведенный на поверхность участок океанической коры. На это указывают не только состав слагающих их пород, но и данные по тектонике этого региона. Острова (см. рис.) лежат на продолжении крупного разлома Шеклтона, там, где он подходит



Положение о-вов Диего-Рамирес. На схеме показаны характерные для этого района тектонические структуры и направления смещений по ним.

Желоба

Разломы и смещения по ним

к Южно-Американскому материку. А у южного конца разлома, на Южно-Шетландских о-вах, в такой же геологической ситуации обнажаются на поверхности океанические базальты. Вероятно, делают вывод исследователи, в зоне взаимодействия нескольких литосферных плит (крупнейшие из которых — Антарктическая и Южно-Американская) идут тектонические процессы, приводящие к надвижению фрагментов океанической коры на континентальную.

LAMONT (Newsletter of Lamont—Doherty Geological Observatory), 1983, № 4, p. 8 (США).

Геофизика

Советский научный проект МАССА

В Институте физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР разработан проект МАССА (магнитосферно-атмосферные связи при сейсмо-акустических явлениях). В его выполнении участвовало 15 различных научных организаций страны, которые проводили комплексные исследования геофизических явлений, инициированных взрывом. Как известно, зондирование атмосферы, ионосферы и магнитосферы позволяет получать данные о взаимодействии этих областей, но наибольшую информацию о механизмах такого взаимодействия дают активные эксперименты, в частности с использованием мощных наземных взрывов. Такие взрывы приводят к изменению свойств околосферной плазмы, возбуждают возмущения в атмосфере и, как следствие, — в ионосфере и магнитосфере. По своей физической природе искусственные взрывы близки к таким естественным природным катастрофам, как землетрясения или извержения вулканов.

Искусственный взрыв (около 300 т тринитротолуола) был осуществлен в ноябре 1981 г. в районе Алма-Аты. Все средства наблюдения зарегистрировали при этом взрыве изменения различных геофизических параметров.

Обработка данных эксперимента дает следующую предварительную картину событий. Возникшая при взрыве ударная волна преобразуется на расстоянии 10 км от эпицентра взрыва в звуковую, которая распространяется не менее чем на 2000 км от места взрыва. Часть энергии звуковой волны захватывается в один из существующих атмосферных волноводов. Затем звуковая волна частично отражается на высотах 40 и 100 км. И тем не менее примерно через 5 мин после взрыва звуковая волна значительной энергии достигает ионосферы, что и было зарегистрировано наземными зондирующими радиоустановками по доплеровскому смещению частоты. Проникновение звуковой волны на большие высоты было прослежено целым комплексом радиофизической аппаратуры, включающей как вертикальное зондирование, так и пеленг волны на наклонных радиотрассах.

Данные эксперимента МАССА продолжают обрабатываться. Поскольку в период эксперимента над эпицентром взрыва проходила траектория советско-французского искусственного спутника «Ореол-3», его данные дополняют картину явлений в ионосфере сведениями, относящимися к магнитосфере.

Доклады АН СССР, 1983, т. 269, № 3, с. 573—578.

Океанология

Прогноз уровня Мирового океана

В Полярном исследовательском центре Висконсинского университета (США) рабочая группа из 25 экспертов обсуждала сделанные на сегодня прогнозы подъема уровня Мирового океана. Такой подъем возможен за счет потепления, вызванного увеличением содержания в атмосфере двуокиси углерода (парниковый эффект); при этом ледниковый щит Западной Антарктиды, имеющий толщину около 2 км, а по площади равный половине Австра-

лии, рассматривается как барометр изменений содержания CO_2 , а следовательно, и климата Земли.

Эксперты единодушно признают, что если ледниковый щит Западной Антарктиды растает, уровень Мирового океана поднимется на 5 м и его воды затопят прибрежные низменные области. Однако, по мнению М. Мейера (M. Meier), руководителя Гляциологического проекта Геологической службы США и председателя Гляциологического комитета Национальной академии наук, на сегодня остается неясным, окажется ли достаточным незначительное увеличение глобальной температуры, чтобы привести в движение огромную массу антарктического льда.

Ч. Бентли (Ch. Bentley; Висконсинский университет), председатель Совета по полярным исследованиям Национальной академии наук, делит все прогнозы, основанные на моделях, описывающих антарктические условия, на две группы. Согласно расчетам по «катастрофическим» моделям, потепление атмосферы заставит весь ледниковый щит Западной Антарктиды быстро сползти в океан, что повысит его уровень на 5 м всего на протяжении нескольких десятилетий. Однако, по его мнению, столь стремительное таяние полностью исключено; возможная длительность такого процесса — несколько сот лет. Вторая группа моделей, построенных на основании последних наблюдений за уровнем океана, предсказывает постепенное таяние, следующее за периодическими подъемами температуры на земном шаре. Однако никакой физической причины для обоснования такой прямой зависимости не приводится.

Эксперты отмечают, что рост глобальной температуры повысит содержание влаги в атмосфере, а это приведет к увеличению количества осадков и, в частности, к росту ледяного покрова. Таким образом, сложный характер взаимодействия колебаний в осадках, циркуляции ветров, тепловом режиме, ледяном покрове океана и т. д. делает конечную цель исследований — прогноз состояния лед-

никового щита Антарктиды (его сокращение или увеличение) — неопределенной. Современные знания о состоянии атмосферы, океана и льдов Южной полярной области еще слишком ограничены. Исходя из этого, члены рабочей группы призвали к построению более совершенных моделей, более полной и тщательной оценке существующих наблюдений и более широкому мониторингу.

Bulletin of the American Meteorological Society, 1983, v. 64, № 9, p. 1085 (США).

Метеорология

Влияние Луны на земные осадки

Р. Карри (R. Currie; Центр космических полетов им. Годдарда Национального управления по авиации и исследованию космического пространства США) еще несколько лет назад установил существование связи между взаимным положением Земли и Луны и атмосферными осадками. Подобные гипотезы высказывались в разных странах и ранее, но были недостаточно убедительными.

Изучив архивы метеорологических данных, Карри выявил определенную цикличность в количестве выпадаемых осадков для «подветренной» стороны Скалистых гор в Северной Америке, имеющую период 18,6 лет. Специалисты, отмечавшие такую цикличность и прежде, соотносили ее с 11—22-летними колебаниями солнечной активности. С этим же связывалась и наблюдавшаяся агрометеорологами примерно 20-летняя повторяемость засух на Среднем Западе США.

Известно, что Луна занимает крайние северное и южное положения относительно земного экватора раз в 18,6 лет. Карри указал на совпадающее с этими моментами изменение в преобладании тех или иных погодных условий по обе стороны Скалистых гор. Его утверждения, первоначально принятые крайне скептически как имеющие слабую временную и

особенно пространственную обоснованность, ныне подтверждаются работами международной группы метеорологов и климатологов из Университета штата Нью-Йорк (Стони-Брук, США) и Института атмосферной физики (Пекин, КНР), возглавляемой С. Хамидом (S. Hameed). Ими проанализирован самый, вероятно, длинный в мире ряд метеорологических наблюдений (1470—1974 гг.), относящихся к территории вокруг Пекина. В этих данных цикличность с периодами 11 и 22 года (т. е. совпадающая с солнечной активностью) чрезвычайно слаба или полностью отсутствует. Зато довольно отчетливо наблюдается цикличность с периодом чуть более 18,6 лет. Еще одно подтверждение гипотезы Карри обнаружил в 1983 г. У. Кампбелл, Дж. Блехман и Р. Брайсон (W. Campbell, J. Blechman, R. Bryson; Университет штата Висконсин, Мэдисон, США). В данных о муссонных осадках, выпадавших в июне в период 1885—1975 гг. в Северной Индии, они нашли четкую их зависимость от положения Луны относительно Земли.

Обнаруженный эффект может быть использован при долгосрочных прогнозах погоды в качестве дополнительного источника. Подтверждение правдивости гипотезы Карри на материалах Индии и Китая подкрепляет также его прогноз, согласно которому в начале 90-х годов на Великих равнинах Северной Америки следует ожидать жестокую засуху.

Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 1983, v. 69, p. 321 (Великобритания).

Метеорология

Арктические ураганы

Метеорологи Национального управления по исследованию океана и атмосферы США (National Oceanic and Atmospheric Administration — NOAA) зимой 1984 г. приступили к изучению мощных штормовых систем Арктики, иногда называемых зимними ураганами. Вне-

запно обрушиваясь на полярные акватории, они серьезно угрожают мореплаванию и работе нефтяников на прибрежных буровых платформах. Исследователи намерены также определить, какой объем двуокиси углерода поступает во время таких штормов из атмосферы в глубокие слои вод Северной Атлантики. Исследования помогут точнее оценить баланс углекислого газа в масштабе Мирового океана.

Старший метеоролог этого управления М. Шапиро (M. Shapiro) полагает, что ураганы высоких широт следует считать «двойниками» тропических циклонов (ураганов) низких широт. Полярные ураганы возникают, по его мнению, не только в Северной Атлантике, Норвежском и Баренцевом морях, но также в Беринговом море и заливе Аляска, хотя и несколько меньших масштабов. Как в типичном, так и в полярном урагане присутствует хорошо развитая спиральная облачная система, скорость ветра достигает 150 км/ч. По размерам арктические ураганы меньше наиболее мощных тропических циклонов, не у всех обнаружен «глаз бури». Установлено, что арктические ураганы развиваются чрезвычайно быстро, вызывая сильное волнение моря.

В связи с нарастающими темпами хозяйственного освоения высоких широт накопление сведений об арктических ураганах приобретает большое практическое значение. В обширной программе исследования этого явления участвуют также ученые НАСА и ВМФ США, Великобритании, Норвегии и Исландии.

Bulletin of the American Meteorological Society, 1984, v. 65, № 3, p. 246 (США).

Палеоокеанология

Наклон земной оси и жизнь в океане

В ходе выполнения международного проекта CLIMAP (Climate Longrange Interpretation, Mapping And Prediction — Дол-

госрочная интерпретация, картирование и прогноз климата) ученые США и Японии исследовали стратиграфию донных осадков северной части Тихого океана, используя при этом методы геохронологии (тефра — мелкий вулканический пепел), палеомагнетизма, проводя анализ терригенного материала, вынесенного в море плавучими льдами, изучая ископаемые радиолярии и диатомовые водоросли. Сопоставление современного состава осадочных отложений с их составом 18 тыс. лет назад (т. е. в разгар последнего ледникового периода) дало возможность построить надежную карту температур поверхностных вод северной части Тихого океана для того времени. Изучение характера мелких частиц, переносимых воздушными потоками из Азии и отлагающихся на дне океана, позволило установить интенсивность западных ветров в различные периоды. Биологическая продуктивность поверхностных вод определялась по накоплению кремнезема органического происхождения. Анализ распространения радиоляриевой фауны и ее количественных колебаний со временем показал, что ее характер изменялся в глобальном масштабе синхронно.

Один из главных выводов проведенного исследования: в течение последних 5 млн лет, прослеживаемых по видовому распределению и количеству ископаемых морских организмов, происходили циклически повторявшиеся колебания природных условий. Длительность цикла — около 41 тыс. лет. По данным астрономии, геомагнетизма и геодезии, такая периодичность характерна для изменения наклона земной оси. Механизм взаимосвязи обоих этих явлений пока еще до конца не ясен. Однако можно считать, что изменения состояния океанической среды следуют за климатическими событиями, которые связаны с количеством солнечной энергии, поступающей на поверхность соответствующего региона земной поверхности в зависимости от положения в пространстве земной оси.

Биогеохимия

Изотопная хронология жизни на Земле

М. Шидловски (M. Schidlowski; Институт химии им. М. Планка в Майнце, ФРГ), обобщив данные по изотопному составу углерода и его соединений, сохранившихся в геологической летописи Земли, пришел к выводу, что жизнь практически одновозрастна с древнейшими осадочными породами (т. е. со временем появления на Земле воды и началом процесса накопления осадков). При этом органическое вещество планеты количественно оставалось постоянным с момента своего появления и до наших дней.

Как известно, углерод — важнейший биогенный элемент, составляющий основу жизни на Земле. В процессе жизнедеятельности организмов происходит разделение изотопов углерода: преимущественно ими усваивается изотоп ^{12}C , а более тяжелый изотоп ^{13}C частично остается за бортом органического цикла. По недостатку этого тяжелого изотопа (обозначаемого $\delta^{13}\text{C}$), который обычно равен $-26 \pm 7\%$, можно достаточно уверенно отличать скопления углерода и его соединений, образованные организмами, от органических соединений углерода, имеющих абиогенное происхождение.

Исследования, которые провел Шидловски, показали удивительную устойчивость $\delta^{13}\text{C}$ начиная с древнейших времен, что интерпретируется им как строгая выдержанность механизма автотрофной фиксации углерода. В течение геологической истории Земли начиная с 3,5 млрд лет органогенный углерод постоянно (с единственным исключением около 2,7 млрд лет) составлял около 20 % от общего количества этого элемента в экзотрофной системе. Самая древняя «запись» (Шидловски сравнивает изотопные данные по углероду с отпечатками пальцев) датируется возрастом 3,8 млрд лет и дает несколько меньшие значения $\delta^{13}\text{C}$, около $-13 \pm 4,9\%$, но это отклонение

может быть объяснено явлениями метаморфизма.

Из этого следует, что жизнь должна была развиваться на остывающей планете очень быстро: 4,5 млрд лет назад для нее еще не было условий, а 3,8 млрд лет назад она уже полностью контролировала земной цикл углерода. Большое количество живого вещества в раннем докембрии не покажется удивительным, если учесть широкое развитие в этот период процветавших систем микроорганизмов, оставивших массу строматолитовых построек. Сообщества современных бентосных прокариот могут поддерживать скорость образования биомассы до 8—12 г/м² в день. В докембрии, когда они не имели конкурентов, они могли монополизировать биосферу.

Доклады XXVII Международного геологического конгресса. Т. 19, «Сравнительная планетология», М., 1984, с. 119—125.

Палеонтология

Динозавры из провинции Сычуань

Окрестности г. Цзыгун (провинция Сычуань, Юго-Западный Китай) примечательны обилием костных остатков динозавров. Исследования здесь были начаты еще в 1915 г., когда один американский геолог обнаружил зуб и фрагмент нижней челюсти карнозавра (Carnosauria). В 1936 г. китайский ученый Ян Чжуцзян нашел фрагменты костяка одного из представителей подотряда зауропод (Sauropoda), который получил название *Omeisaurus*. В 1972 г. был найден полный скелет динозавра из подотряда птицепогих (Ornithopoda), названного *Jandusaurus hongheensis*. К настоящему времени в пределах Цзыгуна известно 30 скоплений костей древних ящеров; два из них имеют мировое значение.

Как сообщает Хэ Цин (He Qing), первое открыто в 1974 г. в Шахэба. В объеме 100 м³ было выявлено 106 «гнезд» с костями динозавров,

а также пятьсот зубов. Существенно, что пять скелетов: три представителя зауропод, один — хищного динозавра (Thegopoda) и один — стегозавра (Stegosauria) — почти полные.

В 1979 г. в Дашаньбу открыли еще большее скопление. За три года раскопки здесь расчищено 300 «гнезд» с костями, принадлежавшими 200 динозаврам, среди них — 18 почти полных скелетов и четыре черепа. Значительная часть этих остатков относится к среднеюрскому периоду, в том числе и первый в мире полный череп стегозавра; по месту находки он назван хуаянзавром (*Huayansaur*).

В настоящее время в Цзыгуне внедряется новая для Китая методика в изучении динозавров и организации палеонтологических музеев: кости ящеров остаются на месте, а над ними сооружается укрытие, что создает идеальные условия для исследований.

В заключение автор ставит ряд вопросов, которые еще ждут своего ответа: почему так много динозавров скопилось в одном месте; пришли ли они сами для «коллективного самоуничтожения» или их снесло водой; что привело к исчезновению этих гигантов?¹

China Reconstructs, 1983, v. XXXIII, № 3, p. 68—69 (КНР).

¹ О некоторых аспектах проблемы см.: Природа, 1983, № 3, с. 117; 1983, № 8, с. 94; № 11, с. 116.

Археология

Почему утасла мегалитическая культура острова Пасхи!

Среди ученых до сих пор нет единого мнения относительно причины, по которой жители о-ва Пасхи, изваяв из туфа несколько сот гигантских статуй, внезапно около 1700 г. прервали многовековую традицию и более таких статуй уже никогда не соорудили. Одна из гипотез,

объясняющих неожиданный конец этой мегалитической культуры, утверждает, что главная причина — в обезлесении острова. Однако свидетельств, что ныне безлесный остров когда-то был покрыт густой древесной растительностью, до недавнего времени не существовало.

Дж. Фленли и С. Кинг (J. R. Flenly, S. King; Гульский университет, Великобритания) провели анализ пыльцы древних растений, сохранившейся в осадочных породах на дне озер в вулканических кратерах Ранопараку, Ранопарои и Ранопкао. При этом изученный временной интервал охватил, считая от нынешнего времени, 37 тыс. лет.

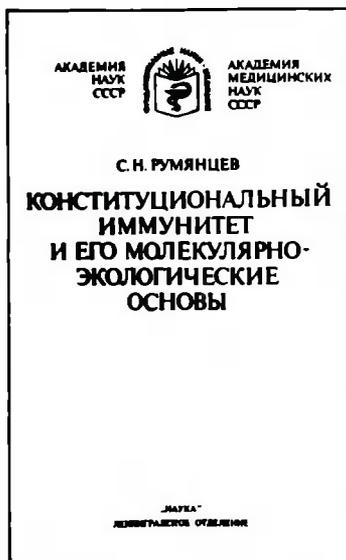
Известно, что ныне остров покрыт в основном травянистыми растениями; здесь встречаются лишь два вида кустарников: *Lucium carolinianum* и *Caesalpinia bonduc*. Росшее ранее на острове дерево софора (*Sophora foromiro*) теперь можно видеть лишь в ботанических садах других стран мира. Однако исследование пыльцы показало, что еще тысячу лет назад на острове изобиливали пальмы и многочисленные виды кустарников. Очевидно, неумеренная их вырубка резко снизила плодородие почв, что в конце концов привело к полному исчезновению древесной растительности. А без нее невозможно было ни перемещать готовые гигантские каменные статуи, ни устанавливать их в вертикальном положении. Поколения, получившие в наследство безлесный каменный остров, вынуждены были отказаться от многовековой традиции.

Nature, 1984, v. 307, p. 47 (Великобритания).

На пути к всеобщей теории иммунитета

Академик АН УССР А. А. Созинов

Москва



С. Н. Румянцев. КОНСТИТУЦИОНАЛЬНЫЙ ИММУНИТЕТ И ЕГО МОЛЕКУЛЯРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ. Отв. ред. П. Н. Бургазов. Л.: Наука, сер. «Фундаментальные науки — медицина», 1983, 210 с.

Иммунитет — устойчивость организма к тем или иным воздействиям — общебиологический феномен, и в основополагающих трудах И. И. Мечникова иммунология начала свое развитие именно как общебиологическая наука. Однако по мере накопления материалов, происходившего очень быстро,

представители отдельных биологических дисциплин (ботаники, зоологи, ветеринары, медики и др.), специализировавшись на изучении проявлений иммунитета у отдельных групп организмов, в конечном итоге оказались разобщенными. Исследователи разных ветвей единого иммунологического древа практически перестали «видеть» друг друга. Например, в самом современном руководстве по медицинской и ветеринарной иммунологии¹ совсем не упоминаются ферменты устойчивости у каких-либо организмов, кроме позвоночных животных. В трудах по иммунитету растений таких крайностей нет, но в них находит отражение определенная трудность: ботаникам и зоологам никак не удается перебросить мост между явлениями устойчивости у животных и у растений.

Возрождение плодотворной мечниковской идеи о единстве происхождения и о ответственности в филогенетическом развитии систем иммунитета у различных форм живой материи началось лишь в самое последнее время². Одним из важных событий в этом закономерном процессе явилось издание рецензируемой монографии. Книга вышла в Ленинграде в серии «Фундаментальные науки — медицине», основанной издательством «Наука» по решению объединенной сессии АН и АМН СССР, проходившей в 1982 г. (председатель редколлегии серии Ю. А. Овчинников). Открывается книга авторским предисловием, за которым следует основная часть (главы I—V), заключение, библиография (404 названия) и предметный указатель (свыше 1000 наименований).

Термином «конституциональный иммунитет» в современной иммунологии объединяются все явления врожденного, в том числе видового иммунитета. Всего лишь 15 лет тому назад всемирно известный иммунолог У. Бойд, говоря о конституциональном иммунитете и называя его важнейшим, утверждал, что именно об этом типе иммунитета мы знаем очень мало³. И он был прав. В то время конституциональный иммунитет был уже давно знаком растениеводам, животноводам и медикам по многочисленным проявлениям. Но о конкретных механизмах этого типа устойчивости не было известно практически ничего. Такое состояние науки знанием не называть.

Стимулом к проведению излагаемого в книге С. Н. Румянцева многопланового фундаментального исследования и послужила давно назревшая необходимость раскрыть сущность конституционального иммунитета. Решая эту задачу экспериментальными и теоретическими методами, автор рецензируемой книги рассматривает вирусы, бактерии, грибы, простейшие (свыше 60 видов), растения, беспозвоночных и позвоночных животных. При этом детально проанализировано множество данных физиологии, инфекционной патологии, эндокринологии в свете новейших сведений по анатомическим, физиологическим и экологическим разделам молекулярной биологии.

Широта обзора явлений конституционального иммунитета — первое из достоинств, отличающих книгу С. Н. Румянцева от всех других иммунологических трудов. Впервые в ней представлена почти полная панорама проявлений конституцио-

¹ Петров Р. В. Иммунология. М., 1982.

² См.: Эфроимсон В. П. Иммуногенетика. М., 1971.

³ Бойд У. Основы иммунологии. М., 1969.

нального иммунитета у различных форм живой материи — от вирусов и бактерий до высших растений, позвоночных животных и человека. Другой такой книги в мировой литературе нет. Впечатляет и глубина проведенного анализа: явления устойчивости детально анализируются на всех уровнях организации живой материи, начиная с видов, популяций, индивидуумов и вплоть до органов, тканей, клеток и, что особенно ново и важно, — субклеточных и молекулярных структур. В этой книге впервые систематизированы основные материалы о компонентах анатомии организмов (нуклеиновых кислотах, ганглиозидах, липидах, полисахаридах, разнообразных белках), проявляющих иммунологическую компетентность во взаимодействии с молекулярно-экологическими (токсины, ферменты, нуклеиновые кислоты, феромоны) и физиологическими агентами (гормонами, кейлонами, медиаторами и др.).

Книгу С. Н. Румянцева характеризуют, однако, не только обилие и разнообразие фактического материала. В процессе его обобщения, систематизации и теоретического осмысления автору — первому из иммунологов — удалось уложить в единую стройную систему множество фактов, до того казавшееся хаотическим. Созданная при этом система представлений, при всей ее новизне, исходит, тем не менее, из принятого в иммунологии разделения явлений иммунитета на конституциональные, фагоцитарные и реактивные. Показав, что система конституционального иммунитета обнаруживается у организмов любого таксономического ранга, С. Н. Румянцев справедливо заключает, что она является первой не только по своему значению (функциональным возможностям), но и по своему происхождению. (Явления фагоцитоза присущи лишь протистам и многоклеточным животным, а система реактивного иммунитета, основанная на функциях лимфоидной системы, — только позвоночным.) Конституциональные системы иммуногенеза образуют основу защитных механизмов, а фагоцитарные и реактивные, если они имеются,

лишь дополняют эффективность первых. Конституциональные механизмы как бы консолидируют все другие свойства, обеспечивающие устойчивость.

Конституциональный иммунитет определяется в книге С. Н. Румянцева как общебиологический принцип противодействия экологическим (прежде всего микробным), физиологическим и физическим агентам, основанный на мутационном возникновении и наследственном закреплении таких особенностей молекулярного устройства организма, которые препятствуют взаимодействию с соответствующими агентами. В этом определении и раскрывается сущность механизмов конституционального иммунитета, оказавшаяся предельно простой и принципиально единой у всех форм живых существ. Таким образом, появление рецензируемого труда означает возрождение мечниковской общебиологической теории иммунитета на новом, молекулярнобиологическом уровне. Эта теория впервые в едином ключе интерпретирует все известные явления резистентности у представителей всех известных форм живой материи. Таким ключом оказались данные о молекулярных аспектах строения и функционирования биосферы, т. е. представления молекулярной биологии.

Особого внимания заслуживают изложенные в книге, опять-таки впервые, представления о биогенезе конституционального иммунитета. Они сформулированы в виде четырех закономерностей, или принципов (экологической обусловленности, основного патогенетического звена, специфичности, эволюционного резонанса). Четвертый из них представляет собой по сути дела новую трактовку закона сопряженной эволюции, что имеет особо важное значение для современных диспутов о механизмах биомолекулярной эволюции. Принцип специфичности отражает тот факт, что хотя система конституционального иммунитета является универсальной (в том смысле, что она действует у всех известных таксонов), ее конкретные проявления и механизмы исключительно специфичны: соответственно

уникальности биомолекулярных агентов и субстратов их действия в организме.

Книга адресована прежде всего представителям медицинской науки. Она открывает для них не только новые и очень обширные горизонты познания, но и ранее немыслимые и исключительно заманчивые перспективы использования явлений конституционального иммунитета в работе по профилактике, диагностике и лечению многих тяжелейших заболеваний (инфекционных, онкологических, эндокринологических и др.). Но знакомство с книгой будет не менее полезным и интересным также и для представителей теоретической биологии. Их внимание привлекут, несомненно, такие затронутые в книге проблемы, как роль конституционального иммунитета в физиологических процессах онтогенеза, в биомолекулярной эволюции и т. д. Немало нового и полезного для себя найдут в книге и специалисты по различным разделам физиологии и патологии животных и растений. Это особенно ценно в свете задач, поставленных перед животноводцами и растениеводами Продовольственной программой СССР.

Важнейшими факторами, снижающими урожайность сельскохозяйственных культур и продуктивность животноводства, являются губительные эпифитотии и эпизоотии, обусловленные агрессивностью тех или иных специфических вирусов, грибов, бактерий и других микроорганизмов. Самое надежное средство предотвращения этих потерь — культивирование сортов растений и пород животных, наследственно устойчивых к заболеваниям. Генетики и селекционеры во всем мире, в том числе и в нашей стране, прилагают огромные усилия, чтобы вывести такие породы и сорта. И они добились немалых успехов. Достаточно вспомнить достижения советского селекционера В. С. Пустовойта, создавшего сорт подсолнечника, наследственно устойчивый к заражению. Широкое внедрение этого сорта в практику сельскохозяйственного производства дало прибавку урожая, оцениваемую сотнями миллионов рублей.

Понимание молекулярной сущности конституционального иммунитета открывает, как это следует из рецензируемой книги, принципиально новые возможности для повышения эффективности селекционной работы, особенно ее темпов. Например, если до недавнего времени отбор устойчивых организмов в процессе селекции можно было производить только посредством создания инфекционного фона, т. е. искусственно производимого массового заражения, то в настоящее время имеется реальная возможность, в ряде отраслей уже превращенная в практику, распознавать наследственно иммунные организмы с помощью аналитических тестов, основанных на межмолекулярных реакциях. Иммуитет сахарного тростника к пятнистой болезни — один из множества приведенных в книге конкретных примеров реального осуществления таких методов.

В книге немало и других примеров, свидетельствующих, что ее содержание представляет большой интерес для представителей многих, причем самых разных отраслей теоретической и прикладной биологии, а не только медицины. Пересказ и даже перечисление всех таких примеров в рамках рецензии невозможны, да и не нужны: это не заменит личного знакомства с глубоко содержательной книгой общенаучного значения, к тому же написанной в хорошем стиле, выразительным языком. Знаменательно, что среди первых публикаций, осветивших эту новую тему, — статья С. Н. Румянцева «Молекулярная конституция антимикробного иммунитета», появившаяся шесть лет тому назад в журнале «Природа» (1978, № 5, с. 15—25).

Неподготовленному читателю будет нелегко читать эту книгу — столь насыщена она очень разнообразным материалом, к тому же плотно уложенным всего лишь в 210 страниц текста. Но этот труд не будет напрасным. Совершив путешествие в прежде неведомую часть науки о живой природе, читатель возвратится с богатыми трофеями.

Об эволюции культуры камня

П. В. Флоренский,
доктор геолого-минералогических наук
Москва



А. М. Викторов, Л. А. Викторова.
ПРИРОДНЫЙ КАМЕНЬ В АРХИТЕКТУРЕ. М.: Стройиздат, 1983, 188 с.

Кажется, совсем недавно природный камень считался недопустимой роскошью в архитектуре, и даже в метро его начала теснить керамическая плитка. Но как-то незаметно в отношении к природному камню наступил коренной перелом: с 1965 г. выпуск облицовочных изделий из него возрос почти в двадцать раз! Новые станции метро опять засветились мрамором, и разные города стремятся сделать свое метро самым лучшим: есть глубокий смысл в том, что самые многолюдные помещения — станции метро — самые роскошные, соперничающие со сказочными дворцами. Москва снова становится белокаменной — ее здания облицовывают мрамором Урала и доломитом Эстонии, камень свозится в нее из всех районов нашей страны.

Поэтому книгу «Природный камень в архитектуре» не просто найти, несмотря на внушительный — 11 000 экз. — тираж. Она читается с постоянным интересом, который поддерживают и многочисленные, равномерно насыщающие книгу иллюстрации. Книга написана геологом А. М. Викторовым — для инженеров, архитекторов и искусствоведов — и его дочерью Л. А. Викторовой, архитектором, — для геологов и разработчиков. По крайней мере, у меня создалось такое впечатление.

Архитектор и искусствовед найдут в первой главе продуманную классификацию строительных камней, основанную на их технических и декоративных особенностях, их плюсы и минусы, определяемые их свойствами, особенности технологии добычи, обработки и применения природного камня, сведения о его главнейших месторождениях. Глава эта, как, впрочем, и вся книга, удивительно плотно, хотя и ненавязчиво, насыщена полезным и нужным материалом настолько, что местами приобретает элементы справочника. Ее полезно будет иметь под рукой также и авторам учебных курсов по строительному делу, инженерной геологии и добыче полезных ископаемых. Мне — геологу — особенно интересно было читать вторую и третью главы книги, в которых речь идет о разнообразных формах применения камня.

Алмаз — довольно невзрачный камень, но, попав в умелые руки гранильщика, становится сияющим бриллиантом, который вбирает и, преломляя, отдает солнечные лучи. Точно так же и «простой» камень, став частью стены, раскрывает себя со всей полнотой, становится символом непоколебимости: ведь недаром говорят о твердом человеке, что он — как каменная стена. Именно об

¹ Викторов А. М. Камень в сооружениях Переславль-Залесского. — Природа, 1978, № 1, с. 146; Он же. — Подмосковный известняк в Астраханском кремле. — Природа, 1980, № 10, с. 50.

архитектуре как способе раскрытия внутренней красоты камня и рассказывают авторы во второй главе.

Эволюция культуры камня есть отражение общечеловеческой культуры — эта мысль наполняет третью главу, посвященную применению природного камня в современной архитектуре. Хочется отметить интересный подбор многочисленных фотографий и рисунков. Поначалу изображение на одной странице построек разных народов и эпох создает ощущение пестроты и беспорядка, но постепенно, по мере углубления в книгу, становятся понятны их единство и необходимость. И тогда догадываешься о работе по коллекционированию иллюстраций: такое собирается годами!

Даже пролиставшему книгу становится понятным, что сейчас наступила во всем мире эпоха расцвета культуры природного камня. А внимательный

читатель увидит и пути дальнейшего развития этой культуры; геолог лучше поймет, что надо искать, а архитектор, особенно реставратор, будет огражден от многих ошибок. Так, например, наша Белокаменная снова одевается белым камнем, но, увы, не традиционным подмосковным известняком из мячковского горизонта, хотя созданные из него соборы стоят семь — восемь веков. Правда, и в этих древних соборах реставраторы умудрялись заменять древние камни на новые — из инородного камня. Сейчас беспокоит увлечение крымским и мангышлакским известняком — рыхлыми, кавернозными и, главное, неморозостойкими. Они, кроме того, легко впитывают грязь, и здания быстро приобретают неопрятный вид.

Конечно, хотелось бы, чтобы шрифт книги был бы покрупнее, иллюстрации больше и печать лучше, чтобы были цветные фотографии. Но тогда

книжка превратилась бы в альбом. И альбом получился бы роскошный, авторам и издателям стоит об этом подумать.

После того как читатель изучит книгу, он будет внимательнее смотреть на стены окружающих его построек и станет обязательно останавливаться у стен и колонн станций метро, где камень отполирован. Теперь подготовленный читатель увидит его состав, структуру, а может быть, захочет еще что-нибудь прочесть об истории камня и истории тех мест, откуда его привезли. Тогда станет понятной мощь облицованной гранитом «Баррикадной», легкость и воздушность мраморной облицовки. Вспомни, что мрамор образовался в океанах при соединении углекислого газа древней атмосферы с кальцием, читатель увидит в окаменевших кораллах и раковинах древние океаны так, как можно услышать их шум, приложив к уху найденную на берегу раковину.

НОВЫЕ КНИГИ

Астрономия

Ф. Уипл. СЕМЬЯ СОЛНЦА: ПЛАНЕТЫ И СПУТНИКИ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ. Пер. с англ. Ю. Н. Ефремова. Под ред. М. Я. Марова. М.: Мир, 1983, 316 с., ц. 1 р. 60 к.

Несколько поколений людей знакомились с Солнечной системой по книге выдающегося американского астронома Фреда Уипла, посвятившего всю свою жизнь изучению объектов, обращающихся вокруг Солнца. Первое издание книги вышло в свет в 1941 г. под названием «Земля, Луна и планеты». За четверть века, прошедшую после запуска 1-го советского искусственного спутника Земли, космические аппараты нанесли визиты уже более чем 40 небесным телам. Были открыты огромные марсианские вулканы, по сравнению с которыми высочайшие горы на Земле кажутся карликами; древние русла рек

на Марсе; действующие вулканы на Ио; облака из капелек концентрированной серной кислоты в атмосфере Венеры, температура поверхности которой выше точки плавления свинца; системы колец у Юпитера и Урана; непроницаемые облака на Титане, состоящие из сложных органических молекул, подобных тем, из которых на Земле возникла органическая жизнь. Но это лишь начало, «эпоха Возрождения» в познании Солнечной системы продолжается.

Четвертое издание книги Ф. Уипла, с которого осуществлен перевод, сильно переработано в соответствии с новыми данными. Книга охватывает широкий круг вопросов: от законов движения планет и спутников до проблем происхождения и эволюции Солнечной системы. Она состоит из 15 глав и богато иллюстрирована. Ее интересно не только читать, но и перелистывать, как «семейный альбом» членов Солнечной систе-

мы, снятых крупным планом в различных ракурсах. По стилю изложения и содержанию книга доступна широкому и разностороннему по уровню подготовки кругу читателей.

Космическая биология

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ОРБИТАЛЬНЫХ СТАНЦИЯХ «САЛЮТ». Отв. ред. и авт. предисл. Н. П. Дубинин. М.: Наука, 1984, 248 с., ц. 3 р.

Монография начинается с описания научной аппаратуры, оснащавшей орбитальную станцию «Салют». В последующих главах обобщены результаты полетных экспериментов, проводившихся на объектах самого разного уровня организации — от биополимеров до высших растений и животных; выявлены особенности развития различных организмов в условиях невесомости.

Впервые в истории биологических исследований в космосе удалось вырастить на орбитальной станции растения от проростков в фазе семядолей до стадий цветения и плодоношения и изучить влияние длительного хранения (более двух лет) в условиях полета репродуктивного материала (спор грибов, бактерий, семян растений). На ряде объектов (хлорелла, культура клеток млекопитающих, высшие растения) было показано, что в условиях космического полета начинается более ранняя дифференциация тканей и преждевременное старение организма.

В монографии большое внимание уделено модельным наземным экспериментам.

Биология

Т. И. Зирв. ПОПУЛЯРНАЯ ФИТОВИРУСОЛОГИЯ. Отв. ред. К. М. Сытник, рец. Л. Е. Глушак и А. Л. Злотина. Киев: Наукова думка, 1984, 110 с., ц. 20 к.

В средневековой Голландии в эпоху «тюльпаномании» за луковицу тюльпана со светлыми штрихами на лепестках можно было обменять мельницу или домашний скот; девушки получали такие луковицы в качестве приданого. И лишь столетия спустя стало известно, что так ценившийся цветоводами признак пестролепестности — результат вирусной инфекции.

Книга посвящена фитовирусам — невидимым спутникам низших и высших растений. В ней изложена история возникновения, развития и становления фитовирусологии как самостоятельной биологической науки — от описательного периода до современных исследований на молекулярном уровне. Как были открыты вирусы, а много позднее — микоплазмы и вириониды, соседи вирусов по микромиру; каковы их свойства и особенности и каковы типичные признаки поражения растений вирусами; как эти «молекулярные гангстеры» приводят к опустошительным эпифитотиям, наносящим значительный урон сельскому хозяйству; сколько усилий

потребовалось, чтобы научиться одолевать этих коварных врагов; каковы перспективы развития фундаментальной и прикладной фитовирусологии — обо всем этом рассказывает автор книги, старший научный сотрудник Центрального республиканского ботанического сада АН УССР.

Биология

Я. Мусил, О. Новакова, К. Куц. СОВРЕМЕННАЯ БИОХИМИЯ В СХЕМАХ. Пер. с англ. С. М. Азеевой и А. А. Байкова. 2-е изд., испр. М.: Мир, 1984, 216 с., ц. 2 р. 20 к.

Эта книга, написанная группой чешских авторов и первоначально вышедшая на английском языке, совершенно необычна. В конспективной форме в ней изложены фундаментальные основы биохимии и ее новейшие достижения. Лаконизм достигается благодаря концентрации огромного фактического материала в очень наглядных схемах, которым отводится центральное место, а сопровождающий схемы краткий текст лишь поясняет их и включает определения основных понятий. Издание предназначено самому широкому кругу читателей с разным уровнем подготовки — химикам, биохимикам, биологам, медикам, а также студентам, аспирантам, преподавателям школ, техникумов и педагогических вузов.

Книга знакомит с состоянием биохимических проблем в различных аспектах: освещается строение основных классов биополимеров — белков, нуклеиновых кислот, углеводов и липидов, пути их распада и синтеза в живом организме; представлено строение клетки, клеточных мембран; обсуждаются проблемы транспорта, накопления и расхода энергии; существенное внимание уделяется вопросам репликации, транскрипции и трансляции генетической информации. При подготовке русского издания авторами не только внесены необходимые изменения в ранее написанные главы, но и включено 6 новых.

Геология

Е. Зейболд, В. Бергер. ДНО ОКЕАНА. ВВЕДЕНИЕ В МОРСКУЮ ГЕОЛОГИЮ. Пер. с англ. И. А. Басова, Л. А. Торчиговой. Под. ред. Н. А. Богданова, М.: Мир, 1984, 320 с., ц. 3 р. 60 к.

Авторы книги относятся к разным поколениям школы европейских морских геологов; оба — известные специалисты в области палеонтологии и современных процессов морского осадконакопления.

Представления о том, как образовалась и развивалась наша планета, говорят во введении, радикально изменились за последние 20 лет. Эта революция в геологии (которую сейчас обычно связывают с концепцией тектоники плит) была результатом изучения океанского дна. В краткой и доступной форме авторы излагают современные взгляды на происхождение и историю формирования структур дна Мирового океана и его континентальных окраин, рассматривают состав, источники и различные факторы переноса осадков, дают обширную информацию по экологии морских организмов, климатическим изменениям, минеральным ресурсам морского дна. «Отличительной чертой ближайших десятилетий, — пишут авторы, — будет увеличение зависимости человечества от природных ресурсов. В этой связи нельзя забывать того, что океан является «кухней» погоды, местом захоронения многих индустриальных отходов, а также источником энергетических и металлических полезных ископаемых. Поэтому особенно важно знание основных фактов и концепций морской геологии».

География

КАРТОГРАФИЯ. Вып. 1. Зарубежные концепции и направления исследований. Сб. переводных статей. Ред. и сост. В. М. Голмана и А. А. Лютого. Предисл. А. А. Лютого. Перев.: Н. Б. Барбаш, А. Г. Москвин. М.: Прогресс, 1983, 278 с., ц. 2 р.; Вып. 2. Использование карт в научных и практических целях в зару-

бежной картографии. (Сб. переводных статей. Сост., ред. и предисл. А. М. Берлинга. Перев.: Н. Б. Барбаш, А. Г. Москвин. М.: Прогресс, 1983, 216 с., ц. 1 р. 50 к.

Картография — ровесница и спутница географии — в последние десятилетия переживает ощутимый подъем. Он коснулся и тех вспомогательных технических средств, которыми овладели и пользуются современные картографы, и разработок в области тематики, принципов и методов составления карт, и резкого расширения круга потребителей карт, вызвавшего не только количественный рост картографической продукции, но и качественно новую тенденцию к созданию комплексных тематических атласов. В свете этого выпуск издательством «Прогресс» двух книг, знакомящих с опытом ведущих зарубежных картографов, более чем своевремен. Первый выпуск, в основном, посвящен методологическим и теоретическим вопросам (он содержит фундаментальные статьи Л. Раттайского, Ж. Бертена, М. Пациона и др.); методические вопросы, а также проблемы использования карт — особенно для экологических целей — рассмотрены во втором выпуске (статьи Ф. Топфера, У. Тоблера, П. Озенда, Ж. Карре и др.). Сборники представляют большой интерес не только для географов и картографов, но и для всех прочих исследователей, работающих с картами и другими пространственными отображениями.

Археология

ЧЕЛОВЕК И ОКРУЖАЮЩАЯ ЕГО СРЕДА. Материалы по археологии Грузии и Кавказа, IX. Тбилиси: Мецниереба, 1984, 138 с., ц. 1 р. 50 к.

Квемо-Картлийская экспедиция Центра археологических исследований Института истории, археологии и этнографии им. И. А. Джавахишвили АН ГрузССР изучала интереснейший археологический памятник эпохи энеолита (VI—IV тыс. до н. э.) Арухло, расположенный

в Марнеульском районе Восточной Грузии. Полевые изыскания экспедиции были направлены на изучение истории раннеземледельческого общества межгорных долин Квемо-Картли. Участие специалистов различных областей естествознания позволило проанализировать и осветить различные стороны жизни местных племен и ее связь с природной средой.

Книга содержит описание становления и поэтапного развития производящей экономики этой раннеземледельческой культуры; растительности, животного мира и ботанического состава древнейших пшениц Грузии; каменных орудий жителей Арухло; антропологических особенностей населения Кавказа и Передней Азии.

История науки

А. И. Алексеев. ГЕННАДИЙ ИВАНОВИЧ НЕВЕЛЬСКОЙ (1813—1876). Отв. ред. А. И. Крушнов. М.: Наука, сер. «Научно-биографическая литература», 1984, 192 с., ц. 70 к.

Наверное, нет книги по истории Дальнего Востока, в которой бы не упоминалось имя адмирала Г. И. Невельского. Научная же биография этого замечательного мореплавателя, выдающегося исследователя Дальнего Востока написана впервые. Ее автору удалось разыскать в государственных архивах, а также в частных собраниях в нашей стране и за рубежом материалы, позволяющие по-новому осветить некоторые вопросы истории Дальнего Востока. Новые источники помогли ему в деталях воссоздать историю Амурской экспедиции 1849—1855 гг., которой руководил Невельский, рассказать об ее участниках, описать географические открытия и исследования, сделанные Невельским и его сподвижниками.

Подробно проследивая жизненный путь Невельского, автор дает оценку его вклада в географическое изучение Приамурья, Приморья, о-ва Сахалин, в историю освоения Дальнего Востока. Имя Невельского присвоено восьми географическим объектам, криведческому му-

зею, школе, высшему инженерно-морскому музею; его именем названы улицы, пароходы, город, станица. На географической карте Дальнего Востока увековечены имена и всех соратников Невельского.

История науки

А. Н. Вальцев. ОТКРЫТИЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ. Нуклоны P, N и антинуклоны P, N. Отв. ред. Б. М. Кедров. М.: Наука, 1984, 272 с., ц. 3 р.

Это вторая книга истории науки А. Н. Вальцева, посвященная открытию элементарных частиц. Первая с тем же названием, но с подзаголовком «Электрон. Фотон» вышла в 1981 г. Фактологический аспект в книге — не главный, хотя последовательно изложению исторических фактов посвящены две из четырех глав книги — «Определение свойств нуклонов в 1960—1980 гг.» и «Открытие и изучение антинуклонов». Основными объектами внимания автора стали общие закономерности развития науки, проявившиеся в открытии и определении свойств протона и нейтрона. Главы «Закономерности открытия нуклонов» и «Закономерности определения свойств нуклонов», занимающие больше половины ее объема, следует отнести к области наукознания: рассматриваются методологические, психологические и некоторые другие аспекты.

Последние страницы книги автор посвятил обсуждению вопроса: «Можно ли ввести ясность в проблему реальности гравитона еще до того, как развитие науки приведет в свое время к решению этой проблемы?»

Книга снабжена богатым библиографическим приложением.

Сигареты и вулканы

Л. Г. Бондарев,
кандидат географических наук
Москва

Табачный дым быстро тает в воздухе, и на фоне других загрязнителей атмосферы роль курения представляется, на первый взгляд, совершенно не заслуживающей внимания. Сравнение же геохимической роли курения с вулканизмом, казалось бы, должно восприниматься как полнейшая нелепость. Но именно такое сопоставление является задачей этого сообщения.

В табаке количественно определено присутствие ряда тяжелых металлов. Он — накопитель кадмия, содержание которого на три порядка величины выше средней концентрации в сухой биомассе наземной растительности. Согласно данным американских, японских и западногерманских авторов, одна сигарета (около 1 г табака) содержит от 1,2 до 2,5 мкг кадмия¹. Исследования с помощью «курительных машин» показали, что курильщик при затяжках вдыхает лишь 0,1—0,2 мкг кадмия, т. е. около 10 %, примерно 0,5 мкг рассеивается вместе с дымом, а остальное остается в пепле, который разносится вместе с мелкой пылью иного происхождения.

Воздух незагрязненных территорий содержит около 0,001 мкг кадмия в кубометре. Это значит, что вместе с 20 м³ вдыхаемого за сутки воздуха в

легкие попадает около 0,02 мкг кадмия. Курильщик же, выкуривающий в день пачку сигарет, получает 2—4 мкг — в 100—200 раз больше.

Кадмиевая интоксикация повышает кровяное давление, вызывает почечную недостаточность; кадмию приписывают также и канцерогенные свойства. При поступлении через желудочно-кишечный тракт этот микроэлемент приводит к деформациям костей, их хрупкости и ломкости (болезнь итай-итай в Японии).

Концентрация в табаке еще четырех элементов (в 10⁻⁴ %) характеризуется такими цифрами: свинец — 1,9—3,3; медь — 7—10; цинк — 20—5,4; марганец — 122—217².

Мировое производство табака, согласно «Статистическому ежегоднику ООН», составляет в настоящее время около 5,7 млн т. Легко подсчитать, что при выкуривании «всех сигарет мира» ежегодно рассеивается в окружающей среде в среднем 10,5 т кадмия, 14,8 т свинца, 48,4 т меди, 203,5 т цинка и 966,1 т марганца.

Теперь обратимся к материалам, относящимся к извержению вулкана Толбачик на Камчатке, которое происходило с 6 июля 1975 г. по 10 декабря 1976 г. Тогда вулканологами было отобрано много образцов лавы, свежевывавшего пепла, аэрозолей и конденсатов магматических газов. Позднее путем нейтронно-активационного анализа взятых проб было определено содержание ряда химических элементов в различных продуктах вулканической деятельности.

Рассматриваемое извержение относится к числу круп-

нейших за последнее столетие. Толбачик выбросил 2—3 млрд т вулканического материала, т. е. такое же количество, как в среднем за год все вулканы земного шара. Выделение летучих веществ и мелкодисперсного пепла также было соизмеримо с глобальными характеристиками. Это позволило А. З. Миклишанскому и соавторам, используя данные анализов и экстраполируя цифры, полученные для Толбачика, рассчитать ежегодный вынос отдельных элементов всеми вулканами мира в составе субмикронного пепла и газовой компоненты³.

Поскольку вулканическая деятельность изменчива во времени, глобальный выброс газов достигает от 30 до 150 млн т/год, а мелкодисперсного пепла — от 30 до 300 млн т/год. В соответствии с этим произведены два варианта подсчетов количества различных микроэлементов, вовлекаемых в атмосферную миграцию при вулканизме. Один вариант относится к спокойным годам, другой — к годам с повышенной вулканической активностью.

Теперь остается сравнить массы химических элементов, поставляемых в атмосферу вулканами и курильщиками всех стран и народов (см. таблицу). Мы видим, что в некоторые годы выделение в атмосферу «табачных микроэлементов» (особенно, если говорить о кадмии) отнюдь не выглядит ничтожным при сопоставлении с вулканическими выбросами.

Согласно каталогу И. И. Гущенко⁴, в течение последнего

¹ Friberg L., Piscator M. et al. Cadmium in the Environment. Cleveland, 1974.

² Akehurst B. C. Tobacco. L.—N. Y., 1981.

³ См.: Миклишанский А. З., Яковлев Ю. В. и др. — Геохимия, 1979, № 11, с. 1652—1661.

⁴ Гущенко И. И. Извержения вулканов мира. Каталог. М., 1979.

Поступление в атмосферу некоторых химических элементов в составе вулканических газов и субмикронного вулканического пепла и вместе с табачным дымом, т/год

	Кадмий	Свинец	Медь	Цинк	Марганец
Вулканогенное поступление [Миклишанский А. З. и др., 1979]	37,3—299	200—2000	500—4350	1900—15 300	28 000—280 000
Поступление с табачным дымом	10,5	14,8	48,4	203,5	966,1
Величина антропогенного поступления, в % от вулканогенного, в спокойные годы	28,8	7,4	9,6	10,7	3,5

столетия годовое число вулканических извержений менялось в пределах от 7 до 38. Сопоставляя эти цифры с минимальным и максимальным значениями выброса кадмия, можно считать, что в спокойные годы на одно извержение приходилось в среднем 5,3 т кадмия, а в годы с высокой вулканической активностью — по 7,8 т. Значит, то количество кадмия, которое рассеивается в окружающей среде при выкуривании планетарного урожая табака, — 10,5 т, равноценно одному-двум средней силы вулканическим извержениям.

Если же принять во внимание такие источники поступления металлов в атмосферу, как металлургическое производство и сжигание ископаемого топлива, то, согласно оценке Р. Лантци и Ф. Маккензи, техногенный поток кадмия в атмосферу превосходит естественный в 18 раз, меди — в 14, цинка — в 23,5, свинца — в 346 раз⁵.

В заключение уместно процитировать А. Е. Ферсмана, который еще в середине 30-х годов писал: «Роль человека настолько значительно превышает обычных природных процессов переноса веществ... что по своему масштабу она отвечает в геологической истории страны революционным периодам усиленных процессов, перед которыми бледнеют даже сильнейшие извержения вулканов»⁶.

⁵ Lantzy R. J., Mackenzie F. T.— *Geochim. et cosmochim. acta*, 1979, v. 43, № 4, p. 511—525.

⁶ Ферсман А. Е. *Геохимия*. Избр. труды, т. 3, М., 1956, с. 539.

В номере использованы фотографии АЛЕКСЕЕВА Н. Н., БЕЛИКА В. П., КАРАВАЕВА А. А., ЛЮБИНСКОГО Е. Г., МАШАТИНА В. Н., ПОНОМАРЕНКО Е. В., ПОНОМАРЕНКО С. В., ТАСС.

Художник П. Г. АБЕЛИН
Художественные редакторы
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Корректоры:
Э. А. ГЕОРГАДЗЕ, Т. Д. МИРЛИС

Адрес редакции:
117049, Москва, ГСП-1,
Мароковский пер., 26.
Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 28.08.84
Подписано к печати 9.10.84
Т-14677
Формат 70×100 1/16
Офсет
Усл.-печ. л. 10,32
Усл. кр.-отт. 1430,8 тыс.
Уч.-изд. л. 15,4
Бум. л. 4
Тираж 53 450 экз. Зак. 2408

Ордена Трудового Красного Знамени Чеховский полиграфический комбинат ВО «Союзполиграфпром» Государственного комитета СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.
г. Чехов Московской области



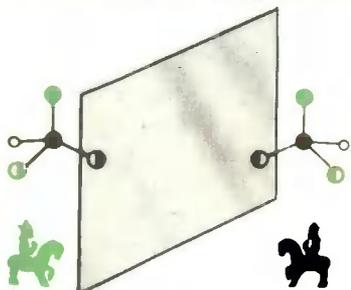
— символ межправительственной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (The Man and the Biosphere). Этим символом обозначены материалы, которые журнал «Природа» публикует в рамках участия в деятельности этой программы.



В следующем номере

Выделен еще один крупный этап в истории Земли, имеющий исключительное значение для понимания направленности геологического процесса и эволюции органического мира.

Соколов Б. С. Вендский период в истории Земли.



Физико-математический подход к вопросу о зарождении и распространении жизни на Земле вызвал развитие новой чрезвычайно интересной области исследования, позволяющей делать прогнозы о возможности существования тех или иных форм жизни где-либо еще во Вселенной.

Морозов Л. Л. Поможет ли физика понять, как возникла жизнь?



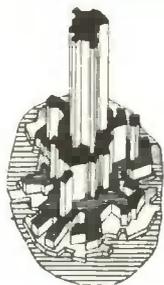
Среди огромного количества работ, составляющих научное наследие И. И. Шмальгаузена, первостепенное значение имеют его основополагающие труды в области эволюционной морфологии и теории эволюции — важнейших направлений современного естествознания.

И. И. ШМАЛЬГАУЗЕН — КЛАССИК СОВРЕМЕННОЙ БИОЛОГИИ. К 100-летию со дня рождения

Гиляров М. С. Эволюционист-теоретик и морфолог-экспериментатор.

Соколов В. Е., Воробьева Э. И. У истоков эволюционной морфологии.

Полянский Ю. И. Выдающийся биолог-дарвинист.



Город — не только сумма построек, но и органическая часть среды, в которой мы живем. Его развитие подчинено объективным законам, которые должна раскрыть единая междисциплинарная теория. Она позволит эффективно и разумно строить города.

Гутнов А. Е. Будущее науки о городе.



Светящиеся разряды, возникающие при таком взаимодействии, таят в себе нечто манящее. Они привлекают внимание не только своей красотой и разнообразием, но и возможностью их широкого применения.

Габович М. Д. Взаимодействие плазмы с жидким металлом.

Цена 80 коп.
Индекс 70707

