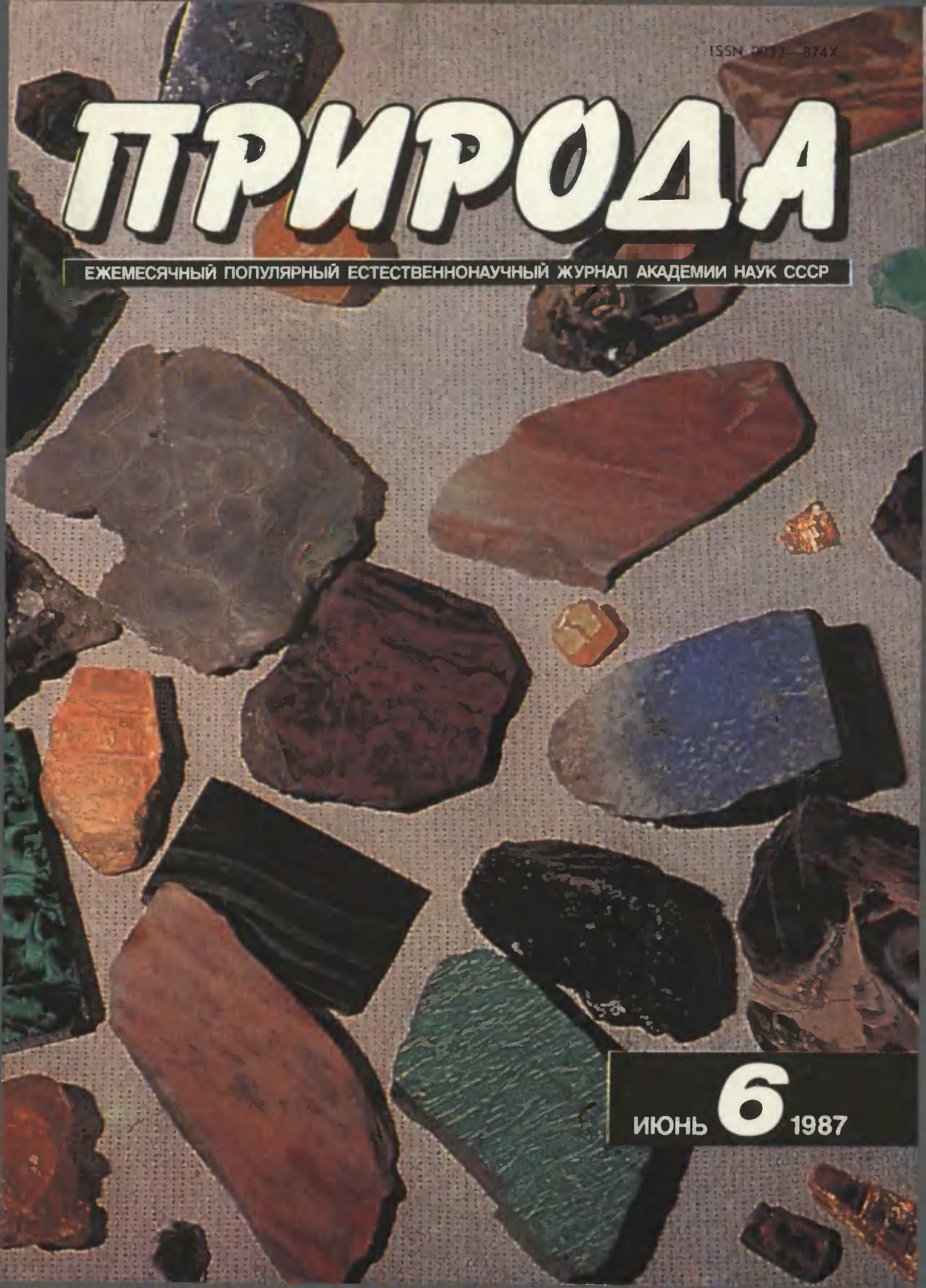
ISSN 0032—874X

ПРИРОДА

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ПОПУЛЯРНЫЙ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ АКАДЕМИИ НАУК СССР



ИЮНЬ 6 1987

июнь
1987

ПРИРОДА

Основан
в 1912 году

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ПОПУЛЯРНЫЙ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ АКАДЕМИИ НАУК СССР

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
академик
Н. Г. БАСОВ

Кандидат физико-математических наук
А. И. АНТИПОВ

Доктор физико-математических наук
Е. В. АРТЮШКОВ

Член-корреспондент АН СССР
Р. Г. БУТЕНКО

Доктор географических наук
А. А. ВЕЛИЧКО

Академик
В. А. ГОВЫРИН

Член-корреспондент АН СССР
И. Р. ГРИГУЛЕВИЧ

Заместитель главного редактора
Ю. Н. ЕЛДЫШЕВ

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

Доктор физико-математических наук
И. Ю. КОБЗАРЕВ

Кандидат физико-математических наук
А. А. КОМАР

Академик
Н. К. КОЧЕТКОВ

Доктор геолого-минералогических наук
И. Н. КРЫЛОВ

Доктор философских наук
Н. В. МАРКОВ

Ответственный секретарь
В. М. ПОЛЫНИН

Доктор исторических наук
П. И. ПУЧКОВ

Заместитель главного редактора
академик
Ю. М. ПУЩАРОВСКИЙ

Доктор философских наук
Ю. В. САЧКОВ

Заместитель главного редактора
доктор биологических наук
А. К. СКВОРЦОВ

Академик АН УССР
А. А. СОЗИНОВ

Академик
В. Е. СОКОЛОВ

Доктор геолого-минералогических наук
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора
кандидат технических наук
А. С. ФЕДОРОВ

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

Член-корреспондент АН СССР
В. Е. ХАИН

Доктор физико-математических наук
А. М. ЧЕРЕПАЩУК

Доктор физико-математических наук
В. А. ЧУЯНОВ

МАВ — 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.

НА ПЕРВОЙ И ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦАХ ОБЛОЖКИ. Цветовая палитра минералов. Образцы из коллекции Минералогического музея им. А. Е. Ферсмана АН СССР. См. в номере: Остроумов М. Н., Вохменцев А. Я., Третьякова Л. И. Колориметрия минералов.

Фото В. В. Фридкеса.

© Москва «Наука» Природа 1987

№ 6 (862) ИЮНЬ 1987

В номере:

3 **Кульберг А. Я.** КАК РЕГУЛИРУЕТСЯ БИОЛОГИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ

Эксперименты, свидетельствующие о существовании антирецепторов на нелимфоидных клетках, позволили предложить новую концепцию регуляции биологического равновесия.

12 **Васильев А. Н., Каганов М. И.** ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ ЗВУКА В МЕТАЛЛАХ

Как бы хорошо металл ни отражал свет, какая-то, пусть очень небольшая, доля энергии электромагнитной волны всегда проникает в него. Оказывается, даже эту небольшую часть энергии можно использовать для генерации звука в металле.

22 **Рубченя В. А., Чечев В. П., Явшиц С. Г.** НОВЫЙ ВИД ЕСТЕСТВЕННОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ

Обнаружен новый вид радиоактивности, «запрещенный» в подавляющем большинстве учебников по ядерной физике.

33 **Никаноров А. М., Жулидов А. В.** ИСТОРИЧЕСКИЙ БИОМОНИТОРИНГ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

В Гидрохимическом институте Госкомгидромета разрабатывается метод слежения за динамикой загрязнения природной среды тяжелыми металлами.

34 **Миронов А. Н., Сагалевич А. М.** ЖИЗНЬ НА ПОДВОДНЫХ ГОРАХ

Почти в каждой экспедиции исследователи открывают богатую и своеобразную жизнь в районах прдводных океанических гор.

43 **Остроумов М. Н., Вохменцев А. Я., Третьякова Л. И.** КОЛОРИМЕТРИЯ МИНЕРАЛОВ

Измеренные с помощью современной техники цветовые характеристики минералов и горных пород показали такое разнообразие цветовых тонов, о котором не подозревали даже специалисты.

54 **Гуляев В. И.** МАЙЯ: ЗАКАТ ВЕЛИКОЙ ЦИВИЛИЗАЦИИ

В конце I тысячелетия погибла одна из древнейших цивилизаций — майя. Причиной ее упадка, возможно, было нашествие чужеземцев, повлекшее за собой кризис экономики, системы управления и религиозных представлений.

65 **Заварзин Г. А., Кларк У.** БИОСФЕРА И КЛИМАТ ГЛАЗАМИ БИОЛОГОВ

Климатологи считают, что парниковый эффект, который приводит к потеплению климата нашей планеты, обусловлен в основном индустриальными выбросами в атмосферу. Биологи видят непосредственную связь газового состава атмосферы с деятельностью почвенной микрофлоры в умеренной зоне Северного полушария.

78 **Панченко Д. В.** ГИБЕЛЬ АТЛАНТИДЫ

Гибель Атлантиды — подлинное событие или выдумка Платона? Двадцать четыре века не стихают об этом споры. И это обстоятельство само по себе свидетельствует: они актуальны.

86 **Гейзенберг В.** КАРТИНА ПРИРОДЫ В СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКЕ

В пору своей высокой философской зрелости один из создателей неклассической физики пытается проследить логику развития физических понятий, уловить внутреннюю связь познания природы и ее технического переустройства.

ДИАЛОГ С ЧИТАТЕЛЕМ

97 ЛУННОЕ ЗАТМЕНИЕ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ

ЗАМЕТКИ И НАБЛЮДЕНИЯ

98 **Кренделев Ф. П.** НАСКАЛЬНЫЕ РИСУНКИ И КОЛЕБАНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

НОВОСТИ НАУКИ

101 Запуски космических аппаратов в СССР (январь—февраль 1987 г.) (101) • «Союз ТМ-2» (101) • Вспышка сверхновой в Большом Магеллановом Облаке (102) • Солнечная радиация уменьшилась (104) • Телескоп субмиллиметрового диапазона (104) • Существует ли пятая сила? (105) • Светоиндуцированные периодические структуры в пленках (105) • Новый тип электронно-дырочной плазмы (106) • Охлаждение атомного пучка излучением (106) • Альтернативные источники энергии (106) • Пьезоэлектрический улавливатель запахов (107) • Еще одна функция РНК (107) • Дивидин — белок пролиферации (107) • Межвидовые различия в уровнях мутации (108) • Синтетические полипептиды в диагностике СПИДа (108) • Инсулиноподобный фактор роста (108) • Моноклональные антитела против ретровируса (109) • Стимулятор В-лимфоцитов (109) • Общий механизм развития рака и атеросклероза (109) • Липосомы лечат кислородное голодание (110) • Мозг за тысячелетия не изменился (110) • Регуляция пола у перепончатокрылых (110) • Жук-листоед уничтожает амброзию (111) • Утконос принимает электрические сигналы (111) • Новая форма каннибализма (112) • Особенности поведения акул (112) • Рептилия или млекопитающее? (113) • Беременность и кадмий (113) • Экологические последствия извержения (113) • Уран из морской воды (114) • Новая геологическая карта Кубы (114) • Новые данные о глубинном строении пассивных окраин океана (116) • Форма земного ядра (116) • Внедрение магмы и землетрясения (116) • Эль-Ниньо запаздывает (117) • Вулканологическая кризисная группа (117) • Сахельская катастрофическая засуха (118) • Древние реки прослежены из космоса (118)

РЕЦЕНЗИИ

119 **Гурштейн А. А., Кузнецов М. В., Слипченко С. И.** НОВАЯ ЖИЗНЬ СТАРЫХ КАРТ (на кн.: *Постников А. В.* Развитие картографии и вопросы использования старых карт)
Есаков В. А. О ЗНАМЕНИТОМ АВТОРЕ «ДЕРСУ УЗАЛЫ» (на кн.: *Тарасова А. И.* Владимир Клавдиевич Арсеньев) (121)

НОВЫЕ КНИГИ

123 **Волынский М. С.** Необыкновенная жизнь обыкновенной капли (123) • **Тополянский В. Д., Струковская М. В.** Психосоматические расстройства (123) • **Саган К.** Драконы Эдема. Рассуждения об эволюции человеческого разума (124) • **Дарнус Дж.** Недоступное глазу (124)

ВСТРЕЧИ С ЗАБЫТЫМ

125 **Гаврюшин Н. К.** В СКРИПТОРИИ КНЯЗЯ КУРБСКОГО

Научные редакторы:
И. Н. АРУТЮНЯН,
О. О. АСТАХОВА,
Л. П. БЕЛЯНОВА,
А. В. ДЕГТЯРЕВ,
М. Ю. ЗУБРЕВА,
Г. В. КОРОТКЕВИЧ,
В. В. МАЙКОВ,
Л. Д. МАЙОРОВА,
Н. Д. МОРОЗОВА,
Н. В. УСПЕНСКАЯ

Литературные редакторы:
Н. Б. ГОРЕЛОВА,
И. В. ДМИТРИЕВА,
Г. И. ПАНКОВА

Художник
С. И. МИРОНЕНКО

Художественные редакторы:
Л. М. БОЯРСКАЯ,
Д. И. СКЛЯР

Зав. редакцией
О. В. ВОЛОШИНА

Корректоры:
О. Н. БОГАЧЕВА,
Т. Д. МИРЛИС

В номере использованы фотографии:
А. Ф. БЫКОВСКОГО,
В. И. ЖИВОТЧЕНКО,
Г. Д. КИЗЕВАЛЬТЕРА,
А. Н. МИРОНОВА,
А. М. САГАЛЕВИЧА,
В. В. ФРИДКЕСА

В художественном оформлении номера принимали участие:
Н. Н. АБРАМОВ,
В. Е. КАРТУН,
В. С. КРЫЛОВА,
Б. И. КУЗЬМИН,
Е. К. ТЕНЧУРИНА

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука»

Адрес редакции:
117049, Москва, ГСП-1,
Мароновский пер., 26.
Тел. 238-24-56, 238-26-33

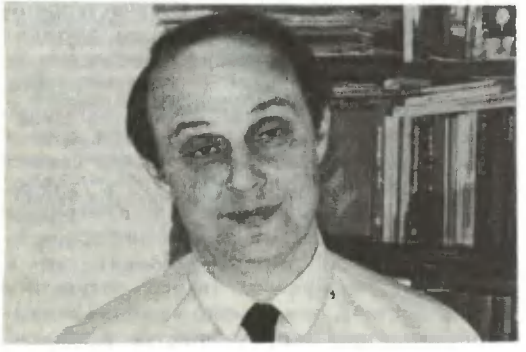
Сдано в набор 7.04.87
Подписано к печати 11.05.87
Т—08966
Формат 70×100 1/16.
Офсет
Усл.-печ. л. 10,32.
Усл. кр.-отт. 1472,4 тыс.
Уч.-изд. л. 15,1
Бум. л. 4
Тираж 55 000 экз
Зак. 980.

Ордена Трудового Красного Знамени Чеховский полиграфический комбинат ВО «Союзполиграфпром» Государственного комитета СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 142300, г. Чехов Московской области

К 70-ЛЕТИЮ ВЕЛИКОГО ОКТЯБРЯ

КАК РЕГУЛИРУЕТСЯ БИОЛОГИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ

А. Я. Кульберг



Александр Яковлевич Кульберг, доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией иммунохимии Института эпидемиологии и микробиологии им. Н. Ф. Гамалеи АМН СССР. Область научных интересов — строение и функция иммуноглобулинов (антител) и клеточных рецепторов, механизмы регуляции биологического равновесия. Автор ряда учебников, пособий и монографий по проблемам иммунохимии и молекулярной иммунологии. В «Природе» опубликовал статью: «Свое» или «чужое»? (1986, № 6).

ВЕЛИКОЕ множество форм живых организмов — от самостоятельно живущей клетки до высших млекопитающих, включая человека,— никогда не останавливало биологов в поисках основных закономерностей той уникальной организации материи, которая порождает феномен жизни. Как бы сложно ни был построен живой организм, в нем удивительно гармонично функционируют самые разнообразные клетки, в каждой из которых одновременно и согласованно протекают многие тысячи химических реакций. Как в условиях постоянно изменяющейся внешней среды достигается такое биологическое равновесие, именуемое гомеостазом?

Ответ на этот вопрос давно волнует биологов и врачей, особенно в последние годы, когда ускоряющийся прогресс все чаще напоминает о себе непредсказуемыми изменениями среды обитания, так заметно влияющими на животный и растительный мир.

Живое и пластично, и консервативно. За время, отделяющее нас от истоков жизни, возникли организмы, способные существовать в экстремальных условиях: при огромном давлении морских глубин, высокой температуре геотермальных источников, в агрессивной среде минеральных кислот. Но сложившись в ходе эволюционного отбора, они уже неспособны жить в иной среде, существенно отличающейся от привычной.

Потребности и целого организма, и отдельной клетки определяются генотипом, а также этапом индивидуального развития (онтогенеза). Потребности эти могут удовлетворяться с той или иной полнотой, что постоянно требует адаптации организма или клетки в изменяющихся условиях внешней среды. Это необходимо для наиболее полного соответствия внутренней среды организма или клетки ее прототипу, заданному генетической программой. Тем самым организм или клетка стремятся к постоянству своей внутренней среды, т. е. к гомеостазу. Так как смысл адаптивной перестройки состоит в том, чтобы уменьшить сдвиги гомеостаза и тем самым обеспечить оптимальные условия для реализации генетической программы, то

чем существеннее и (или) продолжительнее будет такой сдвиг, тем менее совместим он с жизнью организма или клетки.

Как известно, внутренняя среда клетки надежно защищена от внешнего мира клеточной мембраной, образованной двумя слоями липидов. Информацию о внешнем мире клетка получает с помощью особого класса белков — рецепторов, встроенных в мембрану. Каждая клетка, как живущая свободно, так и функционирующая в сообществе других клеток, имеет свой набор рецепторных белков. Часть из них может быть сходной или даже идентичной с рецепторами других клеток, а другая — характерной только для данной клетки.

Вопросы, связанные со строением клеточных рецепторов, уже обсуждались на страницах «Природы»[1]. Здесь мы рассмотрим некоторые принципиальные проблемы участия мембранных белков в распознавании клеточного окружения, поддержании гомеостаза клетки — обратной связи как важнейшей приспособительной реакции организма.

Итак, мембрана отделяет контролируемый наследственным аппаратом внутренний мир клетки от неконтролируемого клеткой внешнего мира. Мембрана как биологический барьер не пропускает в клетку какие-либо вещества без участия рецепторов и так называемых транспортных белков, которые также связаны с клеточной мембраной. Во внешней среде находятся необходимое для клетки питание, а также различные вещества, регулирующие внутриклеточные биохимические реакции. В свою очередь, во внешнюю среду поступают продукты жизнедеятельности клетки, в том числе вещества, производимые ею «на экспорт». Клеточные рецепторы вместе с транспортными белками призваны избирательно, по качественным признакам, оценивать окружение клетки и транспортировать в клетку необходимые для ее жизнедеятельности продукты. Целый ряд веществ, включая гормоны, сами по себе не могут выполнять присущей им регуляторной функции. Реализация такой функции возможна только с помощью специфических рецепторов.

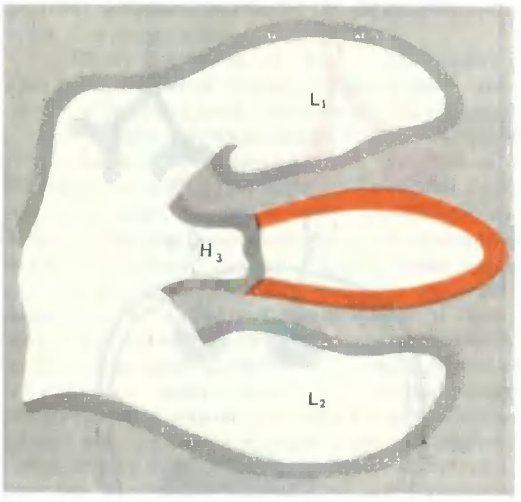
На рецепторный аппарат клетки возложена также задача количественной оценки потребностей в «импорте» веществ. В зависимости от концентрации содержащихся во внешней среде веществ мембранные белки должны обеспечивать их адекватный транспорт в клетку, а также подачу «команд», регулирующих интенсивность соответствующих биохимических реакций. Кроме того, клетке совершенно необходимо знать количество «экспортируемой продукции». В противном случае клетка может «вылететь в трубу», производя во все возрастающих количествах секретируемый ею продукт и затрачивая на это сырьевые и энергетические запасы, необходимые для внутренних нужд. Таким образом, мембранные белки, контролируя клеточный «импорт» и «экспорт», управляют гомеостазом.

Значит, все «внешнеторговые операции» клетка осуществляет за счет продукции большого набора рецепторов, отличающихся по своей специфичности и биологическим функциям. С качественной стороны масштаб этих операций определяется спектром веществ, распознаваемых рецепторами. Но как в таком случае реализуется их количественная сторона? Ведь количество веществ, которое клетка должна узнавать для поддержания своего гомеостаза, может быстро и в значительных пределах колебаться. Клеточные рецепторы обязаны не только информировать клетку об этих колебаниях, но и сглаживать их эффект. Такого результата можно достичь, оперативно изменяя связывание того или иного вещества в зависимости от его концентрации во внешней среде. Аналогичный способ контроля применяется в радиофизике, где для получения постоянного по интенсивности сигнала на приемном устройстве при изменяющемся по интенсивности сигнале передатчика изменяют площадь антенны.

Как же может регулироваться количественная рецепция того или иного вещества в клетке?

На первый взгляд, простейший путь состоит во временном прекращении продукции строго определенного рецептора. Однако таким способом нельзя обеспечить оперативное управление рецепцией. Даже если в нужный момент синтез рецептора остановится, уже имеющиеся рецепторы будут продолжать работать еще в течение нескольких часов. Как известно из данных о времени обмена рецепторов на мембране, 50 % встроенных рецепторов исчезают с ее поверхности за период продолжительностью от нескольких часов до суток. Это слишком большой срок для оперативного управления биохимическими

[1] Кульберг А. Я. «Свое» или «чужое»? // Природа. 1986. № 6. С. 60—67.



Принципиальная схема организации активных центров антитела и анти-антитела. Полость активного центра образована гипервариабельными (наиболее изменчивыми) участками легких (L_1, L_2) и тяжелой (H_3) цепей. Дополнительный отрезок участка тяжелой цепи (выделен цветом) формирует «плюс структуру» активного центра анти-антитела.

Взаимодействие «минус структуры» активного центра антитела с «плюс структурой» активного центра анти-антитела.

рая мешает формированию упорядоченной белковой структуры, что значительно повышает доступность рецептора для протеаз.

Действительно, наши эксперименты показали, что после 15—30-минутного пребывания клетки в растворе такого протеолитического фермента, как трипсин, с клеточной поверхности исчезают все внеклеточные части рецепторов. Однако протеазы действуют быстро, но не избирательно: они «состригают» все рецепторы, не взирая на их специфичность. Значит, и этот путь не может обеспечить с количественной стороны регуляцию избирательного связывания определенных веществ клеткой.

По-видимому, самый рациональный способ быстро и специфично уменьшить на время рецепцию какого-то конкретного вещества, или, как говорят, лиганда (от лат. ligo — привязываю),— на время блокировать активный центр рецептора. Напомним, что активный центр рецептора представляет собой небольшого размера впадину или щель на его внеклеточной части. Впадина имеет очертания, комплементарные тому участку лиганда, который распознает данный рецептор. Если бы клетка могла синтезировать молекулы, имитирующие структуру узнаваемого лиганда, то такие молекулы, которые мы назвали антирецепторами, могли бы конкурировать с данным лигандом за рецептор.

Такой путь регуляции вполне реален, более того, он хорошо известен в иммунологии: продуцируемые лимфоцитами ан-

реакциями, скорость протекания которых в клетке очень велика.

Другая возможность ограничить связывание какого-либо вещества заключается в том, чтобы убрать с поверхности клетки те участки рецепторов, которые формируют во внешней среде распознающие, или, как еще говорят, активные, центры рецепторов. В принципе, такую операцию могут осуществить протеолитические ферменты — протеазы, биологические катализаторы, участвующие в расщеплении белков. Важно отметить, что на границе внеклеточной и внутримембранной частей рецептора находится участок с высокой чувствительностью к действию протеаз. Здесь содержится большое количество пролина — аминокислоты, кото-

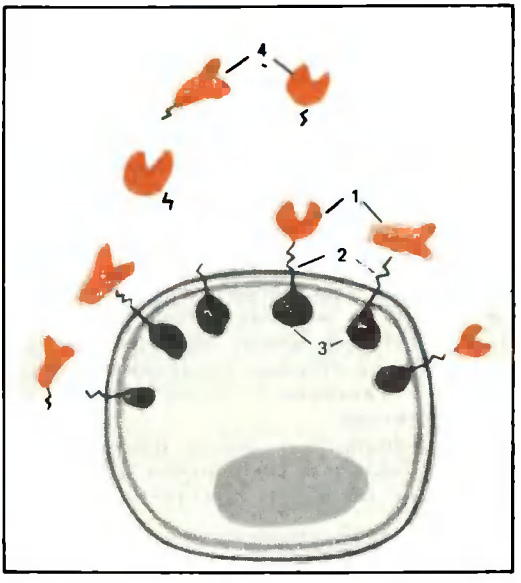
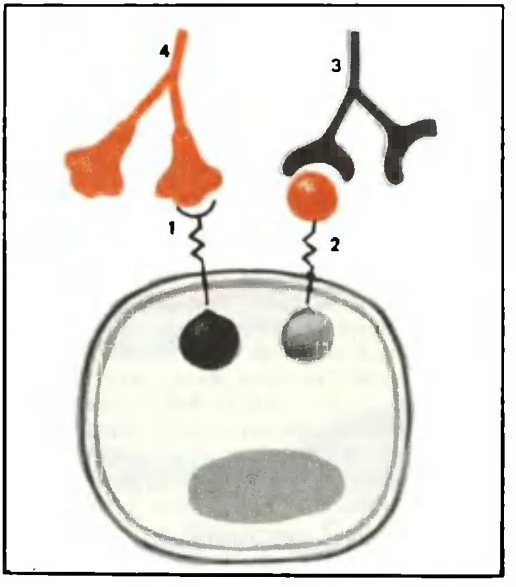


Схема строения клеточных рецепторов. 1 — участки рецепторов, связывающие лиганды; 2 — участки, чувствительные к действию протеаз; 3 — внутриклеточные участки; 4 — отщепленные протеазами внеклеточные участки.



Пространственное соответствие между рецептором (1) и антирецептором (2); между антителом (3) и анти-антителом (4).

тителя к какому-либо антигену (лиганду) способны индуцировать синтез анти-антител, в иммунологии называемых антиидиотипами. Эти последние имеют в своей молекуле структуру, имитирующую соответствующий лиганд, благодаря чему они специфически соединяются с активным центром антитела, вызвавшего их к жизни, т. е. конкурируют с истинным лигандом (антигеном). Таким образом, анти-антитело сдерживает продукцию антител или, другими словами, выступает как внутренний регулятор активности иммунной системы. Но и антитело, и анти-антитело — продукты лимфоидных клеток, а нас интересуют клетки, не участвующие в иммунном ответе организма.

Следуя логике наших рассуждений о способах ограничения рецепции, было заманчиво предположить, что любые клетки, а не только лимфоидные, продуцируют белки, которые подобно анти-антителам конкурируют с лигандами за рецепторы. Иными словами, мы распространили представление об антиидиотипии — явлении, характерном для клеток иммунной системы, до общебиологического явления.

Итак, идея о существовании на любой клетке имитаторов лигандов, которые мы назвали антирецепторами, возникла у нас в свете данных об анти-антителах. Но прежде чем описывать эксперименты, подтверждающие существование на нелимфоидных клетках мембранных белков, подобных постулируемому нами антирецептору, вспомним некоторые свойства рецепторов. Сегодня уже имеются доказательства, что внеклеточные участки рецепторов по своему строению похожи на активные центры антител[2]. Кроме того, активные центры рецепторов комплементарны соответствующим анти-антителам, т. е. антителу против антитела к лиганду, который связывает данный рецептор. На этом основании можно допустить, что антирецептор, будь он на клетках, должен специфически взаимодействовать с антителами против лиганда. В таком случае, чтобы обнаружить на различных клетках антирецепторы, можно воспользоваться антителами к лиганду, распознаваемому данным рецептором.

Действительно, как показали наши эксперименты, такие нелимфоидные клетки, не образующие антител, как макрофаги и фибробласты, синтезируют in vitro мембранные белки, реагирующие с антителами против простых химических соединений, например динитрофениллизина и азофенилрсанилаттирозина. Кроме того,

[2] Кульберг А. Я. Рецепторы клеточных мембран. М., 1987.

у этих клеток имеются и рецепторы к этим соединениям[3].

Опыт состоял в том, что клетки культивировали в среде, содержащей меченую аминокислоту (например, ^{14}C глицин) с тем, чтобы прижизненно пометить синтезированные клетками белки. Затем клетки обрабатывали трипсином, который «состригал» внеклеточные части мембранных белков. Полученный материал пропускали через колонки, заполненные инертным носителем с фиксированными на нем антителами к динитрофениллизину и азофенилларсанилаттирозину, после чего определяли радиоактивность связывающегося с антителами материала. С учетом всех необходимых видов контроля опыты показали, что нелимфоидные клетки, неспособные продуцировать иммуноглобулины, тем не менее синтезируют мембранные белки, специфически реагирующие с указанными антителами.

В других опытах было продемонстрировано, что мембранные белки, взаимодействующие с антителами к лиганду, и рецепторы к тому же лиганду пространственно разобщены на клеточной поверхности. Но если с мембраны одновременно «срезать» выступающие во внешнюю среду части рецепторов и белков со свойствами антирецептора, они вступают между собой в специфическое взаимодействие.

В свете полученных данных предстояло установить, выполняют ли антирецепторы предсказанную им функцию, а именно регуляторов клеточного гомеостаза. Для этого была использована следующая экспериментальная модель[4].

Макрофаги, содержащиеся в брюшной полости, способны жить in vitro в среде, состоящей только из чистых химических соединений. В этих условиях, как и в организме, они синтезируют и секретируют во внешнюю среду ряд белков, весомую часть которых составляет белок C1q — один из компонентов системы комплемента (семейства белков сыворотки крови, участвующих в различных реакциях, в том числе в уничтожении клеток-мишеней. Макрофаги не только синтезируют C1q, но и рецептор, распознающий этот белок. Культивируя клетки в присутствии какой-либо меченой аминокислоты, нетрудно определить общее количество произведенного клеткой C1q за единицу времени, а содержание соответствующих рецепторов оценивают по связыванию клеткой меченого C1q.

Используя меченый ^{14}C глицин, мы установили, что скорость биосинтеза C1q в разные периоды жизни клетки in vitro (от 2 до 96 часов) неодинакова: она заметно снижается к 48 часам с момента начала культивирования, после чего вновь возрастает. В то же время число рецепторов, взаимодействующих с C1q, также неодинаково в разные сроки культивирования макрофагов: кривая, описывающая содержание рецепторов для C1q, в течение 72 часов культивирования клеток имеет тот же характер, что и кривая, описывающая скорость биосинтеза этого белка за то же время. Это означает, что скорость биосинтеза C1q замедляется, когда рецепция этого белка ухудшается, и наоборот.

Что же уменьшает рецепцию меченого C1q, секретируемого клеткой? Может быть, причина этого — уже накопившийся во внешней среде белок? Однако такое объяснение не согласуется с экспериментальными данными. Ведь максимальное содержание C1q вне клетки зарегистрировано нами к 72 часам, но в это время скорость биосинтеза этого белка в клетке вновь увеличивается после наблюдавшегося к 48 часам снижения. Все это может означать, что уменьшение связывания клеткой секретируемого ею белка прямо не зависит от концентрации C1q в среде и происходит при участии другого вещества. Очевидно также и то, что утрата клеткой точного представления об объеме выполненной ею работы ведет к приостановке данного вида работ.

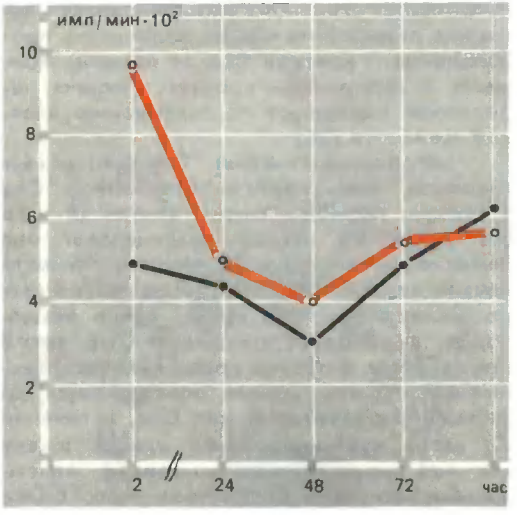
Теперь нужно было выяснить, не является ли вещество, ограничивающее связывание клеткой C1q, антирецептором, т. е. имитатором C1q?

Прежде чем приступить к этой работе, мы проверили, как влияют на биосинтез C1q антитела против антител к этому белку, которые, как мы уже говорили, могут взаимодействовать с рецептором для C1q, т. е. конкурируют за активный центр рецептора с белком. Когда анти-антитела добавляли в среду, в которой культивировали макрофаги, биосинтез C1q резко сокращался. Причем действие анти-антител было совершенно специфическим, так как биосинтез каких-либо других белков, включая белки, продуцируемые макрофагом

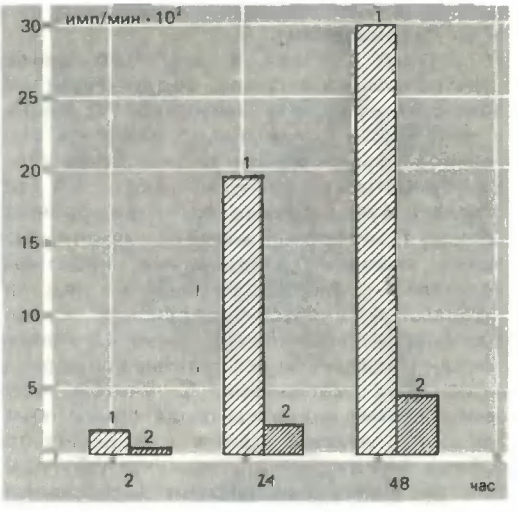
---

[3] Кульберг А. Я., Кулагина Н. Н., Тарханова И. А. и др. // Иммунология. 1985. № 6. С. 39—43.

[4] Кульберг А. Я., Ивановская Н. Д., Тарханова И. А. // Доклады АН СССР. 1986. Т. 287. № 2. С. 486—489.



Изменение количества рецепторов для C1q и скорости биосинтеза этого белка (цветная кривая) в процессе культивирования макрофагов in vitro. По оси абсцисс — время, по оси ординат — радиоактивность изучаемых белков.



Влияние антирецептора — имитатора C1q на биосинтез C1q макрофагами in vitro. Количество синтезируемого белка в отсутствие антирецептора (1) и в присутствии антирецептора (2).

«на экспорт», оставался прежним. Следовательно, блокирование рецептора, распознающего C1q с помощью анти-антител, служит для клетки командой прекратить продукцию именно этого белка.

Чтобы выделить антирецептор, регулирующий биосинтез C1q, мы использовали уже описанный экспериментальный прием. Макрофаги обрабатывали трипсином и из полученного материала извлекали белок, связывающийся антителами против C1q. Затем этот белок добавляли в среду и культивировали в ней макрофаги. В этих случаях C1q почти не синтезировался в течение 48 часов наблюдений[5].

Такой впечатляющий результат свидетельствует о существовании совершенно неизвестного ранее механизма поддержания биологического равновесия. Он означает в том числе, что «надзор» за «экспортной продукцией» белка — важной функцией клетки — поручен ее мембране. Как же он осуществляется? Клетка производит два сорта мембранных белков: один, распознающий продуцируемый ею белок (рецептор), и второй, имитирующий структуру распознаваемого белка (антирецептор). Связывание рецептора с имитатором лиганда, т. е. с антирецептором, непосредственно на клеточной мембране служит для клетки командой к прекращению биосинтеза распознаваемого данным рецептором белка. Ту же функцию, что и антирецептор, может выполнить анти-антитело, которое также служит имитатором лиганда. Что же касается самого продуцируемого клеткой белка, то он прямого участия в регуляции собственного синтеза не принимает. Тем самым нет никаких оснований рассматривать антирецептор как встроенный в клеточную мембрану C1q. Напротив, для предположения о сходстве строения антирецептора и антиидиотипического антитела существуют достаточно веские основания.

Полученные нами результаты служат предпосылкой для экспериментальных исследований всех этапов регуляции гомеостаза с участием рецепторов и антирецепторов.

Один из начальных этапов процесса, как представляется, состоит в следующем. В мембране клетки, находящейся в среде с низкой концентрацией определенного лиганда, рецептор к этому лиганду и имитатор лиганда (антирецептор) пространственно разобщены. Однако если концентрация лиганда в среде увеличится, ситуация изменится. Благодаря связыванию с лигандом все большего числа рецепторов в липидном бислое мембраны возникнут воз-

[5] Кульберг А. Я., Ивановская Н. Д., Тарханова И. А. // Иммунология. 1987. № 1. С. 25—28.

мущения, увеличивающие ее текучесть[6]. При этом возрастет подвижность встроенных в мембрану белков, что существенно повысит вероятность встречи рецептора и антирецептора непосредственно на мембране. Результатом такого взаимодействия будет команда, выключающая из работы систему клетки, функция которой регулируется данным лигандом через его рецептор. Этот эффект по существу идентичен тому, который мы наблюдали в экспериментах с использованием изолированных внеклеточных участков мембранного имитатора C1q.

На основе такого механизма нетрудно представить себе, что активность того или иного процесса в клетке тем не менее опосредованно зависит от концентрации лиганда; при определенных концентрациях (достаточно высоких) он не только способствует сближению и взаимодействию рецептора и имитатора лиганда, но и в состоянии конкурентно вытеснить имитатор из комплекса с рецептором. В случае авторегуляции синтеза белка, секретируемого клеткой во внешнюю среду, синтез приобретает пульсирующий характер, причем колебания скорости этого процесса будут коррелировать с колебаниями концентрации доступных для данного белка рецепторов. Такая зависимость установлена нами в эксперименте.

Опыты, свидетельствующие о существовании в клеточных мембранах антирецепторов — имитаторов лигандов, участвующих в управлении клеточного гомеостаза, открывают новые перспективы в понимании взаимосвязей клетки (и организма) с внешним миром в норме и патологии. Лауреат Нобелевской премии Н. Ерне и его последователи, изучая проблему антител, сформулировали представление, согласно которому антиидиотип несет в своей структуре «внутренний образ» соответствующего антигена. Однако пока за этим понятием стояли лишь иммунологические феномены, речь шла о существовании у высших животных и человека «внутреннего образа» веществ, наделенных функцией антигенов. Антиген, как чужеродный, так и собственный для данного организма, как бы проникает в иммунную систему, которая уже имеет свои «внутренние образы» антигенов. С обнаружением имитаторов лигандов на нелимфоидных клетках появляются основания предположить, что антирецепторы несут в своей структуре «внутренний образ» всех веществ, как чужеродных, так и собственных, которые данный организм может распознать. Организм (или клетка), сопоставляя с помощью рецепторов и имитаторов лигандов свой «внутренний мир» с реалиями внешнего мира, способен адекватно реагировать на изменение своего окружения.

Проблема антирецепторов имеет, на наш взгляд, важное значение для понимания патологии и коррекции сопровождающих ее нарушений гомеостаза. Проиллюстрируем это положение следующим примером.

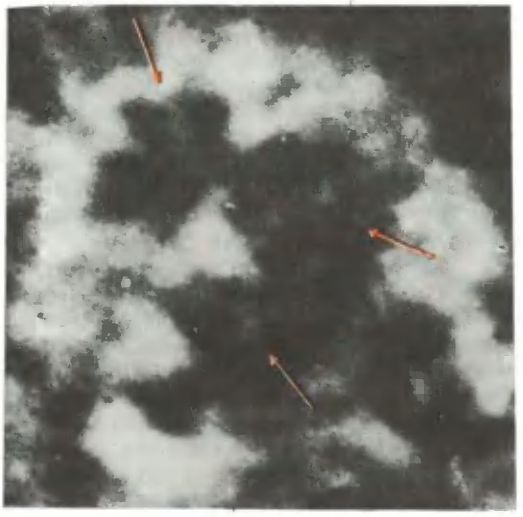
При аутоиммунных заболеваниях, в том числе при таком тяжелом, как системная красная волчанка, в организме постоянно образуются комплексы антиген-антитело. Причем у больных системной красной волчанкой эти комплексы откладываются в стенках сосудов, преимущественно почек, что разрушает их ткани. Хотя у здоровых людей комплексы антиген-антитело тоже возникают (например, при инфекционных заболеваниях), они быстро выводятся из крови при участии поглощающих их клеток — фагоцитов. Значит, в норме организм очищается от комплексов антиген-антитело с помощью фагоцитов, а при системной красной волчанке фагоциты действуют малоэффективно. Однако виноваты в этом не фагоциты больных, а прежде всего уже знакомый нам белок — C1q.

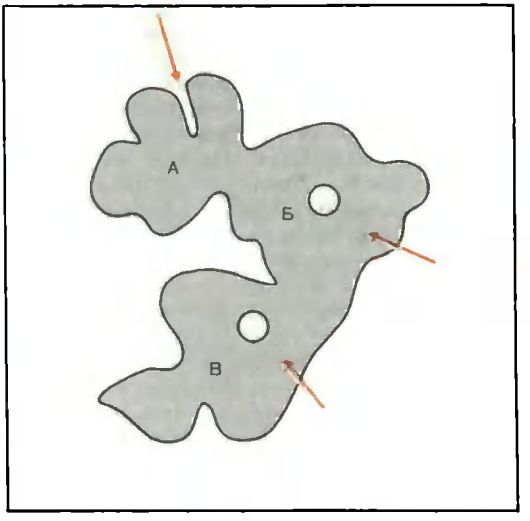
Это было установлено в опытах на так называемых новозеландских мышах, у которых спонтанно развивается патологический процесс аутоиммунного характера с теми же проявлениями, что и при системной красной волчанке. У таких мышей резко увеличена продукция C1q. Этот белок, взаимодействуя с антителами, связанными с антигенами, препятствует распознаванию комплекса антиген-антитело фагоцитами[7]. Одновременно C1q существенно увеличивает размеры таких комплексов, что, вероятно, способствует их отложению на стенках сосудов.

Устранить причину заболевания системной красной волчанкой почти невозможно: заболевание обусловлено генетически зависимыми дефектами иммунной системы больного. Следовательно, единственный на сегодня путь терапии — борь-

[6] Болдырев А. А. Введение в биохимию мембран. М., 1986.

[7] Кульберг А. Я., Уханов С. В., Тарханова И. А. // Иммунология. 1986. № 3. С. 55—57.





Структура R-белка. Слева — первая электронная микрофотография R-белка нелимфоидной клетки — внеклеточной части рецептора к простому лиганду (арсанилаттирозину). Увел. 13 млн 500 тыс. Справа — реконструкция структуры R-белка, выполненная по фотографии. А, Б, В — три автономных компактных участка (домена) R-белка, в одном из которых (А) отчетливо видна щель (обозначена стрелкой), представляющая собой, по-видимому, центр для связывания лиганда. Домен В заканчивается коротким палочковидным участком, примыкающим к поверхности клеточной мембраны. В центре доменов Б и В заметны отверстия, обнаруженные ранее в других глобулярных белках, например в альбуминах.

ба против накопления в организме больного комплексов антиген-антитело и их отложения на стенках сосудов. Такой путь вполне реален, если научиться избирательно блокировать у больных синтез C1q. Функцию ингибиторов синтеза могли бы выполнить имитаторы C1q, которые не вызывают нежелательных побочных реакций.

Не менее значим и другой аспект обсуждаемой проблемы — влияние рецепторных белков отдельной клетки или группы клеток на жизнедеятельность других клеток и организма в целом. Дело в том, что клетки постоянно обменивают компоненты своей мембраны, в ходе чего в окружающую клетки среду попадают продукты расщепления мембранных белков и в их числе фрагменты рецепторов, способные избирательно связывать лиганды. Появление таких рецепторных фрагментов (названных нами R-белками) происходит под действием протеаз, которые содержатся в любой клетке и легко «состригают» все внеклеточные части белков (в том числе рецепторов и антирецепторов).

Таким образом, с поверхности клеток в лимфу и кровь постоянно поступают в виде R-белков фрагменты самых разнообразных рецепторов, способные связывать лиганды подобно тому, как связывают их встроенные в клеточную мембрану рецепторы. Там же присутствуют фрагменты антирецепторов. В норме концентрация R-белков в сыворотке крови невелика (0,2—0,3 мг/мл сыворотки), но при инфекционных и других заболеваниях их содержание возрастает. Насколько это существенно для понимания механизма возникновения тех состояний, которые мы обозначаем как болезнь?

Чем бы ни была вызвана болезнь (будь то вирусы или другие микроорганизмы, травмы, наследственные или возрастные нарушения обмена веществ или другие причины), она неизбежно сопровождается гибелью и (или) нарушениями жизнедеятельности какой-то части клеток. Если подобный процесс носит ограниченный характер, он не поставит под угрозу жизнь данного индивидуума. Однако при этом во всем организме наступят те или иные сдвиги биологического равновесия, которые по ряду общих симптомов будут зарегистрированы как заболевание. Еще со времени Гиппократа врачам известно, что даже локализованный патологический процесс вызывает общие реакции организма, но вопрос о причинах, порождающих такие реакции, дискутируется по сей день. И дело здесь не в недостатках существующих экспериментальных моделей

какой-либо патологии или средств обследования пациентов. В основе биологического равновесия организма лежит нормальный метаболизм, слаженная работа всего биохимического цикла, управляемого разнообразными индукторами и медиаторами. Поэтому кажущаяся причина установленного в конкретном случае нарушения биологического равновесия, в действительности, может быть лишь следствием нарушений, возникших в другом звене. На практике это побуждает к оценке заболевания по все большему числу параметров, закономерность выбора которых можно подчас доказывать с такой же уверенностью, как и его случайность. И все-таки первопричина общих реакций организма при патологии существует и приводит к отмеченному Г. Селье (создателем учения о стрессе) парадоксу: болезней много, а симптомов мало.

По нашему мнению, новые знания о рецепторном аппарате клеток, принципиальные по своей значимости факты о существовании антирецепторов и циркулирующих в организме R-белков (фрагментов рецепторов и антирецепторов), создают основу для понимания механизма общих реакций организма на повреждение клеток, вызванное любой причиной.

Рассмотрим первоначально выдвигаемое положение на следующем примере. Допустим, что в том или ином органе возник локализованный очаг повреждения клеток. Где бы ни находились эти клетки, для поддержания своего энергетического баланса они нуждаются в глюкозе; ее усвоение клеткой, в свою очередь, зависит от инсулина, действие которого опосредуется клеточным рецептором для этого гормона[8]. Такая зависимость от глюкозы и инсулина существует у всех без исключения клеток организма. Поскольку поврежденные клетки чрезвычайно чувствительны к действию собственных протеолитических и других ферментов, это может привести к одновременному поступлению в лимфу и кровь значительного количества R-белков, в том числе и фрагментов рецепторов инсулина, сохраняющего способность связывать этот гормон. Хотя, как уже говорилось, R-белки присутствуют в физиологических жидкостях организма и в норме, при патологии их содержание, включая R-белок для инсулина, будет намного больше нормы. Попав в окружение здоровых клеток, R-белок для инсулина будет связывать этот гормон, конкурируя с рецептором инсулина на этих клетках. В результате, все клетки организма станут испытывать трудности в потреблении инсулина и, как следствие этого, в усвоении глюкозы. Возникшие по этой причине нарушения обмена веществ на уровне целого организма выразятся в проявлении общих симптомов заболевания.

Сказанное по поводу R-белка, связывающего инсулин, можно распространить на другие R-белки, связывающие те индукторы и медиаторы, в которых нуждаются все клетки организма — стероидные гормоны и ряд других гормонов, нейромедиаторы, факторы роста, витамины. Все эти белки, «родившись» в большом количестве в каком-либо конкретном очаге, нарушат работу самых различных клеток. А так как одновременно с R-белками рецепторного типа будут «сброшены» с поврежденных клеток и соответствующие им антирецепторы, блокирующие синтез белков, метаболический хаос в организме еще более возрастет. При этом следует учесть, что какая-либо эффективная нейтрализация рецепторных R-белков соответствующими им фрагментами антирецепторов невозможна, так как взаимодействие рецептора и антирецептора носит обратимый характер, т. е. в присутствии антирецептора рецептор сохраняет способность связывать свой лиганд.

Предложенная нами концепция основывается не только на новых теоретических знаниях, изложенных в статье. В ее пользу говорят также данные о большой значимости тестирования R-белков в сыворотке крови для оценки тяжести заболеваний и их прогноза. В настоящее время уже опубликованы первые результаты этих наблюдений[9].

Знание единого механизма нарушений биологического равновесия при патологии может решительно изменить стратегию и тактику общей терапии, используемой сегодня, и в значительной степени способствовать выздоровлению самых различных контингентов больных. Залогом высказанного нами оптимизма служит прогресс в научной разработке проблемы регуляции уровня R-белков в организме и связанных с этим биологических последствий.

[8] Кульберг А. Я. Регуляции иммунного ответа. М., 1986.

[9] Яковлева Н. И., Бартова Л. М., Елистратова И. А. и др. // Иммунология. 1986. № 5. С. 39—41.

К 70-ЛЕТИЮ ВЕЛИКОГО ОКТЯБРЯ

Электромагнитное возбуждение звука в металлах

А. Н. Васильев, М. И. Каганов

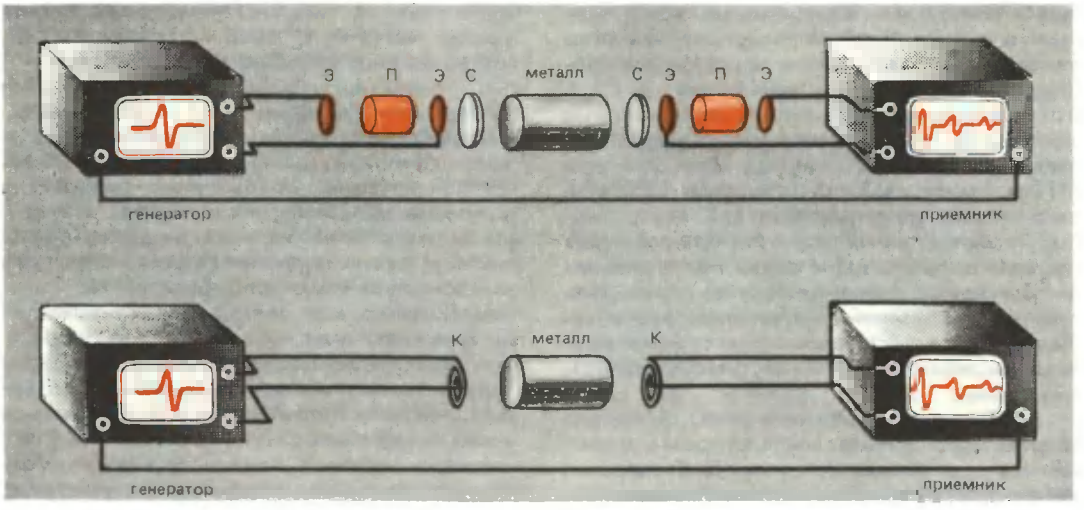
Александр Николаевич Васильев, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник физического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Занимается исследованием процессов преобразования электромагнитных и звуковых волн в проводящих средах.

Моисей Исаакович Каганов, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник теоретического отдела Института физических проблем АН СССР, профессор кафедры физики низких температур физического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Основные работы — в области квантовой теории твердого тела. Автор монографий, научно-популярных книг; неоднократно публиковался в «Природе».

МЕТАЛЛ блестит. Его свойство отражать электромагнитные волны, в том числе и видимого диапазона, общеизвестно. Оно используется, в частности, для создания самых обычных зеркал. Но если электромагнитная волна отражается от поверхности металла, то, значит, с ее помощью нельзя заглянуть в глубь его. Вместе с тем именно заглянуть в глубь объекта исследования — самое естественное желание физика или специалиста, занятого проведением неразрушающих физических испытаний материалов. Хотя рассмотреть металл изнутри не удается, его можно прослушать. И действительно, колебания другой природы — акустические — предоставляют нам эту возможность, давая богатую информацию о физико-механических свойствах металлов.

Развитие акустических методов в физике и дефектоскопии привело к созданию эффективных генераторов и приемников звуковых колебаний в твердых телах. Как правило, они используют пьезоэффект или магнитострикцию, а стандартная схема акустических измерений в металлах выглядит следующим образом: источник электромагнитного сигнала — преобразователь (генератор звука) — передающая среда — объект исследования — передающая среда — преобразователь (приемник звука) — схема регистрации электромагнитного сигнала. В некоторых случаях, когда можно использовать эхоимпульсную методику, эту цепочку удается сократить вдвое, совместив функции генератора и приемника звука в одном преобразователе.

Встает вопрос, а нельзя ли сделать эту цепочку еще короче? Казалось бы, можно отказаться от передающих сред, т. е.



Принципиальные схемы возбуждения и приема звуковых волн традиционным методом (в в е р х у) и электромагнитным (в н и з у). В первом случае обязательно использование преобразователей (П) электромагнитной и акустической энергии и передающих сред (С). В роли преобразователей выступают, как правило, пластинки из пьезоэлектрических и магнитострикционных материалов, на поверхности которых напыляются металлические пленки — электроды (Э); в качестве передающих сред используют чаще всего различные жидкости. (Изображенные на верхнем рисунке элементы П, С, Э и металл в действительности находятся в контакте, а разнесены для удобства восприятия.) В методиках, основанных на электромагнитном возбуждении, для генерации и приема акустических колебаний применяются разнообразные катушки (К), которые создают на поверхности металла электромагнитное поле. В роли преобразователей электромагнитной энергии в акустическую (и наоборот) выступает в этом случае сам металл, точнее, его скин-слой.

просто прижать преобразователь к поверхности образца. Так иногда и делают, однако возникающие при этом новые проблемы — невозможность работы на шероховатых поверхностях, неконтролируемый контакт между преобразователем и образцом и, как следствие, невоспроизводимость результатов опыта — чаще всего не позволяют воспользоваться этим «упрощением».

Что же тогда? Нельзя ли каким-либо образом вообще отказаться от преобразователей? Ответ ясен из названия статьи. Можно! Вернемся опять к исходному пункту наших рассуждений. Как бы хорошо металл ни отражал свет, какая-то, пусть и очень небольшая, доля энергии электромагнитной волны проникает в его поверхностный слой. Оказывается, эту малую, проникшую в металл часть энергии можно использовать для генерации в нем звука. Однако, прежде чем объяснить, как это происходит, попытаемся установить, что, собственно, так привлекает физиков и практиков в новом методе, какие достоинства компенсируют его сравнительно низкую, по сравнению с традиционными методами, энергетическую эффективность.

ЗАЧЕМ ЭТО НУЖНО?

С точки зрения физика, прямое преобразование электромагнитных и звуковых волн в металлах интересно как физическое явление. Как станет ясно из дальнейшего, трансформация этих двух видов энергии с той или иной эффективностью происходит всегда при падении электромагнитной волны на поверхность металла и представляет, таким образом, универсальное, независимо от нас существующее явление. Его изучение может дать (и дает!) новые сведения не только о самих процессах трансформации, но и о тонких характеристиках металла, выступающего в данном случае в несколько необычной роли преобразователя электромагнитной энергии в звуковую[1].

В отличие от стандартных методов генерации и приема акустических волн

[1] Идея такого преобразования была высказана в работах: Конторович В. М., Глуцюк А. М. // ЖЭТФ. 1961. Т. 41. С. 1195—1204; Конторович В. М., Тищенко Н. А. // Изв. ВУЗов. Сер. «Радиофизика». 1963. Т. 6. С. 24—35.

в металлах, электромагнитное возбуждение звука не требует непосредственного механического контакта с исследуемым образцом. Помимо того что создание такого контакта представляет определенные трудности при высоких и низких температурах, на сверхвысоких частотах и при работе с химически активными средами, оно крайне нежелательно при исследовании совершенных монокристаллических образцов. Методики электромагнитного возбуждения звука не имеют принципиальных ограничений по температуре и частоте, позволяя в некоторых случаях проводить измерения, недоступные другим методам.

С точки зрения практика, генерация ультразвука в металлах электромагнитными волнами очень технологична. Во-первых, она идеально подходит для современного скоростного конвейерного производства, когда объект неразрушающих испытаний буквально пролетает мимо поста контроля и за считанные доли секунды необходимо оценить (а еще лучше — измерить) его физико-механические свойства. Во-вторых, исследователю при таком подходе фактически приходится иметь дело только с электромагнитными сигналами, и при изучении их параметров (амплитуды, фазы, времени задержки) в его распоряжении — богатый арсенал современной радиотехники и электроники.

Подчеркнем также следующее обстоятельство: среди разнообразных методов генерации звука в твердых телах немало и бесконтактных. Звук можно возбуждать переменным давлением через воздушную прослойку, лучом лазера, пучками заряженных частиц и т. д. Однако среди всех этих бесконтактных методик наибольшее развитие получили именно те, которые основаны на прямом преобразовании энергии электромагнитных волн в энергию упругих колебаний.

КАК ЭТО ПРОИСХОДИТ?

Для ответа на этот вопрос рассмотрим, что происходит в поверхностном слое металла при падении на него электромагнитной волны.

Металл электрически нейтрален. Число положительных зарядов в нем в точности равно числу отрицательных, и поэтому переменное электрическое поле, казалось бы, никоим образом не может привести его в движение. А ведь нас интересует именно непосредственное воздействие на металл электромагнитной волны частоты f, возбуждающее в нем колебания ионов той же частоты[2].

В металле между положительными зарядами — ионами — и отрицательными зарядами — электронами — существует глубокое различие. Ионы «привязаны» к своим положениям равновесия и только колеблются около них, а электроны делокализованы, они движутся по металлу со скоростями, составляющими около процента от скорости света. Высокая подвижность электронов сказывается в том, что они очень быстро перестраиваются под воздействием электромагнитного возмущения: в поверхностном слое металла толщиной в несколько микрон (скин-слое) наводится переменный ток, электромагнитное поле которого компенсирует внешнее поле внутри металла. Электроны, конечно, сталкиваются с ионами, но в промежутках между столкновениями они успевают пролететь сотни (а при низких температурах и сотни тысяч!) межатомных расстояний. Энергия той части электромагнитной волны, которая проникла в скин-слой металла, превращается в джоулево тепло, и, в первом приближении, никакого возбуждения звука не происходит.

Если длина свободного пробега электронов мала по сравнению с толщиной скин-слоя, то прямое воздействие электрического поля электромагнитной волны на ионы локально компенсируется за счет столкновений с ними электронов. Электроны отдают ионам весь приобретенный от электромагнитной волны импульс, а он строго равен импульсу, приобретенному ионами, но обратен по знаку.

Посмотрим, однако, что произойдет, если чистый образец металла охладить до низких температур. Электроны, имеющие теперь большую длину свободного пробега, вылетают из скин-слоя, в который проникает электромагнитная волна. Электрическое поле волны по-прежнему действует на электроны и ионы, заставляя их двигаться в противоположных направлениях. Однако вместо того чтобы тут же столкнуться с ближайшими ионами и «растерять» свой импульс, электроны выносят из скин-слоя полученную ими добавку к

[2] Все описываемые здесь механизмы электромагнитного возбуждения звука линейны по частоте: амплитуда генерируемой волны пропорциональна амплитуде падающей волны, а не ее интенсивности — квадрату амплитуды, как это имеет место, например, при генерации за счет переменного давления света, когда частота возбуждаемого звука равна удвоенной частоте электромагнитной волны.

импульсу и сталкиваются с другими, в общем случае, далеко удаленными от поверхности ионами. Прямое воздействие электрического поля волны на ионы в скин-слое остается, таким образом, нескомпенсированным, и они вынуждены следовать за этим полем.

Напряженность поля волны в скин-слое меняется с частотой f, и, как следствие, с той же частотой ионы смещаются из своих положений равновесия. Возникающие у поверхности колебания решетки и сопровождающие их колебания электронной плотности распространяются в глубь металла, иными словами, электромагнитная волна возбуждает в нем звук.

Отметим важную особенность этого, да и всех других, происходящих в скин-слое процессов трансформации электромагнитных и звуковых волн. Эти процессы эффективны лишь тогда, когда толщина скин-слоя не превышает длины волны возбуждаемых колебаний: коротковолновые колебания нельзя возбудить «размазанной» в пространстве силой. Уже это обстоятельство выделяет металлы как среды, обладающие высокой электропроводностью и, следовательно, малой толщиной скин-слоя. С повышением частоты, однако, толщина скин-слоя уменьшается обратно пропорционально квадратному корню из частоты, тогда как длина звуковой волны уменьшается гораздо быстрее — обратно пропорционально первой степени частоты. Поэтому уже на частотах СВЧ-диапазона ($f \gtrsim 10^9$ Гц) объемные механизмы электромагнитного возбуждения звука перестают работать. Тогда важную роль начинает играть другой — поверхностный — механизм трансформации[3]. Его легко понять, если учесть, что электроны сталкиваются с ионами не только в глубине металла, но и на его поверхности. Сталкиваться с поверхностью, однако, они могут по-разному. Если электрон отражается от поверхности под таким же углом, под которым он на нее падает, то такой процесс взаимодействия с границей металла (зеркальное рассеяние) не приводит к возникновению поверхностной силы. Если же электрон после столкновения «забывает» о первоначальном направлении своего движения (диффузное рассеяние), то он, приобретая в скин-слое металла добавку к импульсу, передает ее решетке. В результате возникает сосредоточенная непосредственно на поверхности, а не во всем скин-слое, дополнительная сила, которая и является в данном случае источником возбуждения в металле акустических колебаний.

В эксперименте не всегда нужно, а на практике подчас и просто невозможно понижать температуру исследуемого образца. Поэтому, если бы прямое преобразование электромагнитных и звуковых волн в металлах имело место только при низких температурах, этот эффект принадлежал бы к ряду очень интересных, но сугубо специфических «низкотемпературных» свойств металлов (таких как сверхпроводимость, квантовые осцилляции и т. д.). Ситуация, однако, не такова. Напротив, наиболее мощные, хотя, быть может, и не столь тесно связанные с электронной энергетической структурой, механизмы электромагнитного возбуждения звука работают при самых различных температурах.

Остановимся на двух из них. Пусть по-прежнему на металл падает электромагнитная волна и пусть по-прежнему электроны и ионы в скин-слое движутся навстречу друг другу с равными по величине, но противоположно направленными импульсами. Но пусть к металлу приложено еще и постоянное магнитное поле $\vec{H}$. Тогда и на электроны, и на ионы действует сила Лоренца, которая отклоняет их в одну и ту же сторону, так как эти частицы имеют противоположно направленные средние скорости и разные знаки заряда. Но средняя скорость электронов — результат действия поля волны — гораздо больше аналогичной средней скорости ионов. Поэтому основную роль в трансформации и в этом случае играют электроны, которые по-прежнему сталкиваются с ионами и передают им уже ничем не скомпенсированную добавку к импульсу. Тем самым они возбуждают в решетке акустические колебания. Направлением силы Лоренца можно «управлять», изменяя ориентацию постоянного поля $\vec{H}$ и переменного магнитного поля волны относительно поверхности металла. При этом возбуждаются разные типы акустических колебаний. Так, поперечные звуковые колебания (волны сдвига) возбуждаются в поле $\vec{H}$, направленном по нормали к границе металла, а в поле $\vec{H}$, параллельном границе,— продольные колебания (волны сжатия). Задавая специальным образом пространственное распределение электромагнитного поля на поверхности металла, в нем можно возбуждать и поверхностные акустические волны, в том

[3] Каганов М. И., Фикс В. Б. // Физ. металлов и металловедение. 1965. Т. 19. С. 489—494.

числе и такие, которые практически невозможно возбудить любым другим методом.

Преимущества электромагнитного возбуждения звука перед другими методами очевидны, и связаны они, прежде всего, с отсутствием механического контакта с исследуемым веществом. Посмотрим, однако, какова цена этих преимуществ: ведь выигрывая в чем-то, неизбежно теряешь в другом. Для этого оценим, например, эффективность возбуждения звука в металле под действием силы Лоренца. Определяемая как отношение потока акустической энергии, возбуждаемой в металле, к потоку электромагнитной энергии в его скин-слое, эффективность оказывается пропорциональной квадрату напряженности постоянного магнитного поля и обратно пропорциональной частоте, плотности металла, скорости звука и толщине скин-слоя. Кроме того, она зависит от отношения толщины скин-слоя к длине звуковой волны, быстро спадая с увеличением этого параметра в СВЧ-диапазоне.

Оценки показывают, что, например, в таком широко распространенном конструкционном материале, как алюминий, при комнатной температуре на частоте 10 МГц в поле 10 кЭ (это характерные величины частот и полей в задачах электромагнитного возбуждения звука) эффективность прямого преобразования составляет около 10^{-4}, т. е. из одного ватта поглощенной металлом электромагнитной энергии лишь около 100 мВт уходит на возбуждение звука, а остальная часть превращается в тепло.

Для сравнения отметим, что эффективность трансформации кварцевого преобразователя составляет около 10^{-2}, т. е. даже по сравнению с ним (а это далеко не самый эффективный вид преобразователей) методики электромагнитного возбуждения звука в сто раз менее эффективны. Такова цена, которую приходится платить за возможность возбуждать и регистрировать акустические волны в металле, не касаясь его. Понятно, что в такой ситуации электромагнитное возбуждение звука просто не может конкурировать со стандартными методиками, если нет противопоказаний к установлению механического контакта с образцом. Это и не нужно. Бесконтактные методы открывают совсем новые области в экспериментальном исследовании и в практическом применении ультразвука.

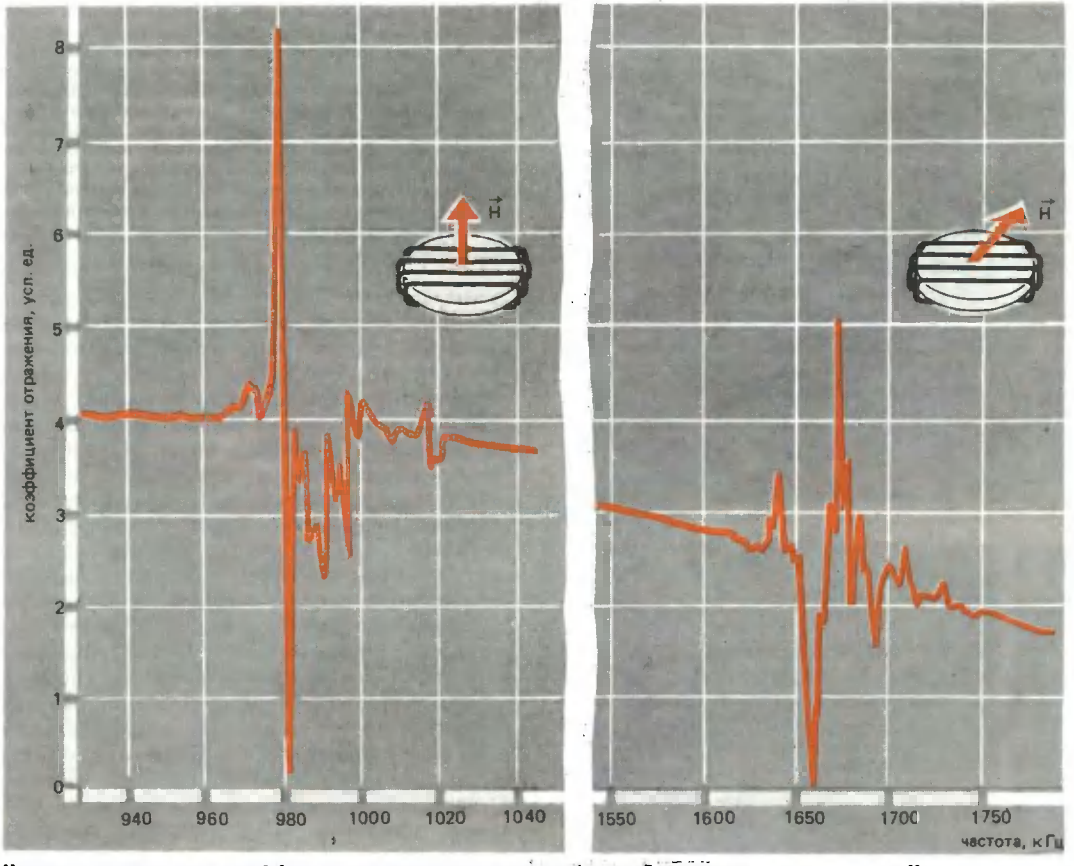
Еще один, а вернее, целая группа механизмов электромагнитного возбуждения звука работает в магнитоупорядоченных материалах (ферромагнетиках, антиферромагнетиках, ферритах). Причем эти механизмы отнюдь не сводятся к магнитострикции. При конструировании магнитострикционных преобразователей необходимо добиваться того, чтобы генератором или приемником звука служил весь объем преобразователя, а для этого фактически требуется отсутствие скин-эффекта, т. е. малая проводимость материала. Механизмы же электромагнитного возбуждения звука работают только при существенно неоднородном распределении тока или поля по сечению образца. Из всего многообразия механизмов трансформации волн в магнетиках (их описание потребовало бы по крайней мере двукратного увеличения объема статьи) остановимся вкратце лишь на том из них, который понадобится для иллюстрации принципов работы одного из наиболее интересных практических применений электромагнитного возбуждения звука.

Известно, что свойства магнитоупорядоченных материалов во многом определяются ориентацией в них атомных магнитных моментов — спинов. Решетка и спины в металле не независимы друг от друга: между этими подсистемами существует тесная связь, и если каким-то образом внешним электромагнитным полем удается раскачать его спиновую подсистему, то за счет спин-решеточного взаимодействия можно раскачать и решетку, тем самым возбудив в металле звуковую волну. Процессы взаимодействия этих двух подсистем металла наиболее эффективно протекают в окрестностях температур магнитных фазовых переходов, когда изменяется или вообще разрушается магнитное упорядочение металла. Спиновая подсистема при этих температурах чрезвычайно податлива к внешним воздействиям, в результате чего в точках магнитных фазовых переходов во много раз возрастает эффективность электромагнитного возбуждения звука[4].

КАК ЭТО ВЫГЛЯДИТ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ...

Изучение электромагнитного возбуждения звука в металлах с самого начала, т. е. с 60-х годов, происходило по двум

[1] Буденков Г. А., Маскаев А. Ф. // Дефектоскопия. 1973. № 1. С. 109—115; 1979. № 4. С. 66—70.



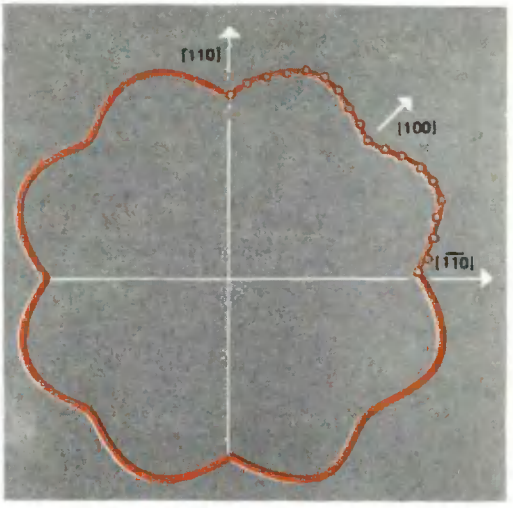
Частотная зависимость коэффициента отражения электромагнитной волны от пластины олова. Когда на пластине укладывается нечетное число полуволн звука, наблюдаются резонансы. Тот, что изображен на рисунке с л е в а, соответствует возбуждению стоячих поперечных волн, на рисунке с п р а в а — возбуждению продольных. Продольные и поперечные волны можно возбуждать в одном и том же эксперименте, изменяя лишь ориентацию постоянного магнитного поля $\vec{H}$ относительно поверхности пластины (показана на рисунке у соответствующих резонансов). Острота резонансных пиков позволяет измерять скорость звука с относительной точностью 10^{-4}.

направлениям, поскольку само явление находится на стыке двух физических дисциплин — акустики и физики твердого тела с традиционными для них экспериментальными методиками.

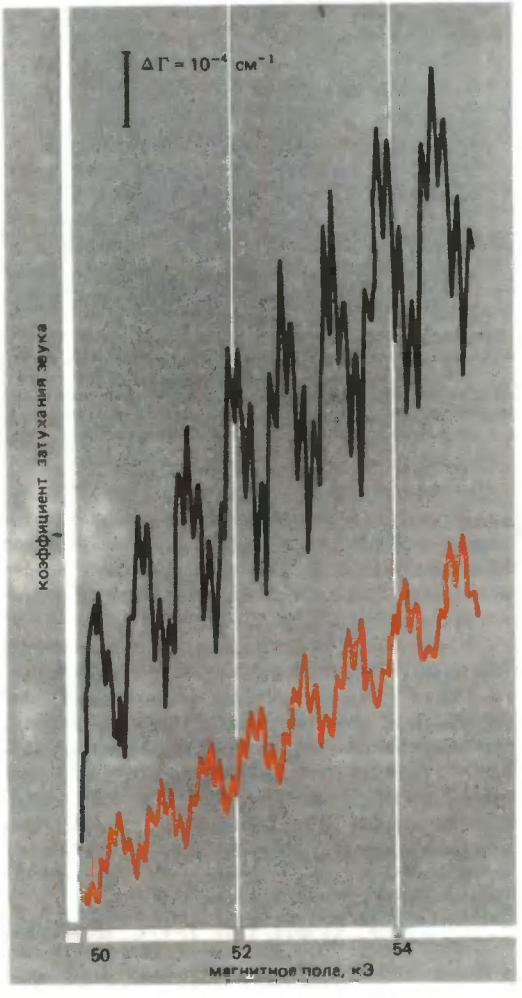
Первая группа экспериментальных методов изучения электромагнитного возбуждения звука — акустическая — основана на зондировании границы металла мощным электромагнитным импульсом и последующей регистрации гораздо более слабого сигнала той же частоты. Первое ослабление зондирующего сигнала происходит, когда электромагнитная волна в скин-слое металла трансформируется в звук, затем этот, уже звуковой, импульс проходит по металлу, дополнительно ослабляясь за счет разнообразных процессов диссипации, и, наконец, второе существенное уменьшение сигнала происходит, когда звук, «изучивший» объемные свойства металла, выходит на поверхность и вновь трансформируется в электромагнитную волну.

Вторая группа экспериментальных методов — пришедшая из физики твердого тела — сводится к возбуждению не бегущих, как в первом случае, а стоячих звуковых волн в исследуемых образцах[5]. Для этого выбираются образцы правильной геометрической формы — пластины, диски, цилиндры и т. д., и в этом случае они выступают в роли акустических

[5] Гантмахер В. Ф., Долгополов В. Т. // Письма в ЖЭТФ. 1967. Т. 5. С. 17—20; Власов К. Б., Кулеев В. Г. // ФТТ. 1967. Т. 9. С. 3022—3026; Гайдуков Ю. П., Перов А. П. // Письма в ЖЭТФ. 1968. Т. 8. С. 666—668.



Угловая зависимость (розетка) эффективности электромагнитного возбуждения поперечных звуковых волн в монокристалле олова (указаны кристаллографические оси). Отсутствие механического контакта между катушкой, создающей электромагнитное поле, и металлом позволяет при температурах, близких к абсолютному нулю, изменять поляризацию акустических колебаний относительно кристаллографических осей образца. Для этого достаточно вращать катушку относительно этих осей в плоскости, перпендикулярной полю $\vec{H}$. Розетка позволяет получить информацию об анизотропии поверхности Ферми металла.



резонаторов. Амплитуды стоячих звуковых волн могут быть гораздо бо́льшими, нежели амплитуды бегущих волн. Установление стоячей звуковой волны, скажем, на толщине пластины существенно изменяет коэффициент отражения электромагнитной волны металлом, так как заметная часть ее энергии перекачивается в звук. Этот факт легко зарегистрировать с помощью стандартных радиотехнических устройств. Простейшая схема такого эксперимента выглядит следующим образом. На плоскопараллельную металлическую пластину наматываются параллельно друг другу две катушки. Одна из них создает переменное электромагнитное поле на поверхности металла. Генерация звука за счет какого-либо из описанных выше механизмов происходит на любой частоте, однако на определенных, резонансных, частотах f_n (для пластины $f_n = ns/2d$, где d — толщина пластины, s — скорость звука, а n — целые нечетные числа) в образце устанавливаются стоячие волны, и изменяющаяся при этом отражательная способность металла регистрируется второй катушкой.

Приведем два примера экспериментальных исследований, выполненных этим методом на физическом факультете Московского государственного университета.

При низких температурах проводимость монокристаллов большинства металлов резко анизотропна. Это связано со сложной структурой траекторий, по которым могут двигаться в металле электро-

Квантовые осцилляции коэффициента затухания Γ поперечных звуковых волн с двумя различными поляризациями в монокристалле олова. Распространяющийся по металлу звук затухает на каком-то, зависящем от качества образца, расстоянии. В чистых металлах при низких температурах это расстояние (и обратная ему величина — коэффициент затухания Γ) осциллирует с изменением постоянного магнитного поля. Амплитуда $\Delta\Gamma$ показанных на рисунке квантовых осцилляций затухания поперечной звуковой волны с двумя различными поляризациями составляет около процента от полного затухания, по порядку величины равного 10^{-2} см$^{-1}$.

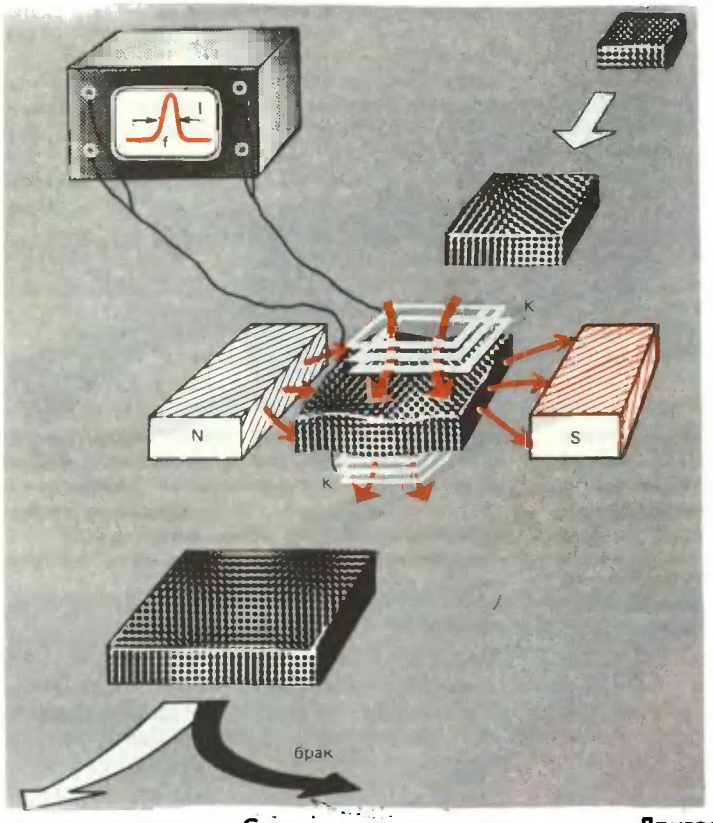


Схема скоростного звукового контроля качества малогабаритных однотипных изделий. Контролируемые изделия (в данном случае металлические пластины) попадают в магнитные поля, изображенные цветными стрелками: переменное (создаваемое катушками индуктивности К) и постоянное (от магнита N—S). При этом в пластине за сотые доли секунды успевает установиться стоячая звуковая волна. Измеряя частоту f и ширину акустического резонанса Г, можно определить толщину и качество изделий. Те из них, которые не укладываются в пределы технологического допуска, автоматически выводятся из производственного потока.

ны проводимости. Структура этих траекторий задается формой поверхности Ферми, которая отделяет занятые электронные состояния в импульсном пространстве металла от свободных[6]. Особенно ярко анизотропия сопротивления металла проявляется в присутствии постоянного магнитного поля $\vec{H}$, когда в одних направлениях с ростом $\vec{H}$ сопротивление металла неограниченно возрастает, а в других — практически не изменяется. Это приводит к тому, что толщина скин-слоя, а следовательно, и соотношение между ее значением и длиной волны также зависит от ориентации высокочастотного тока относительно кристаллографических осей металла. Но при этом изменяется эффективность электромагнитного возбуждения звука, что, в свою очередь, используется для бесконтактного измерения сопротивления металла в магнитном поле, а тем самым и многих существенных параметров поверхности Ферми металла.

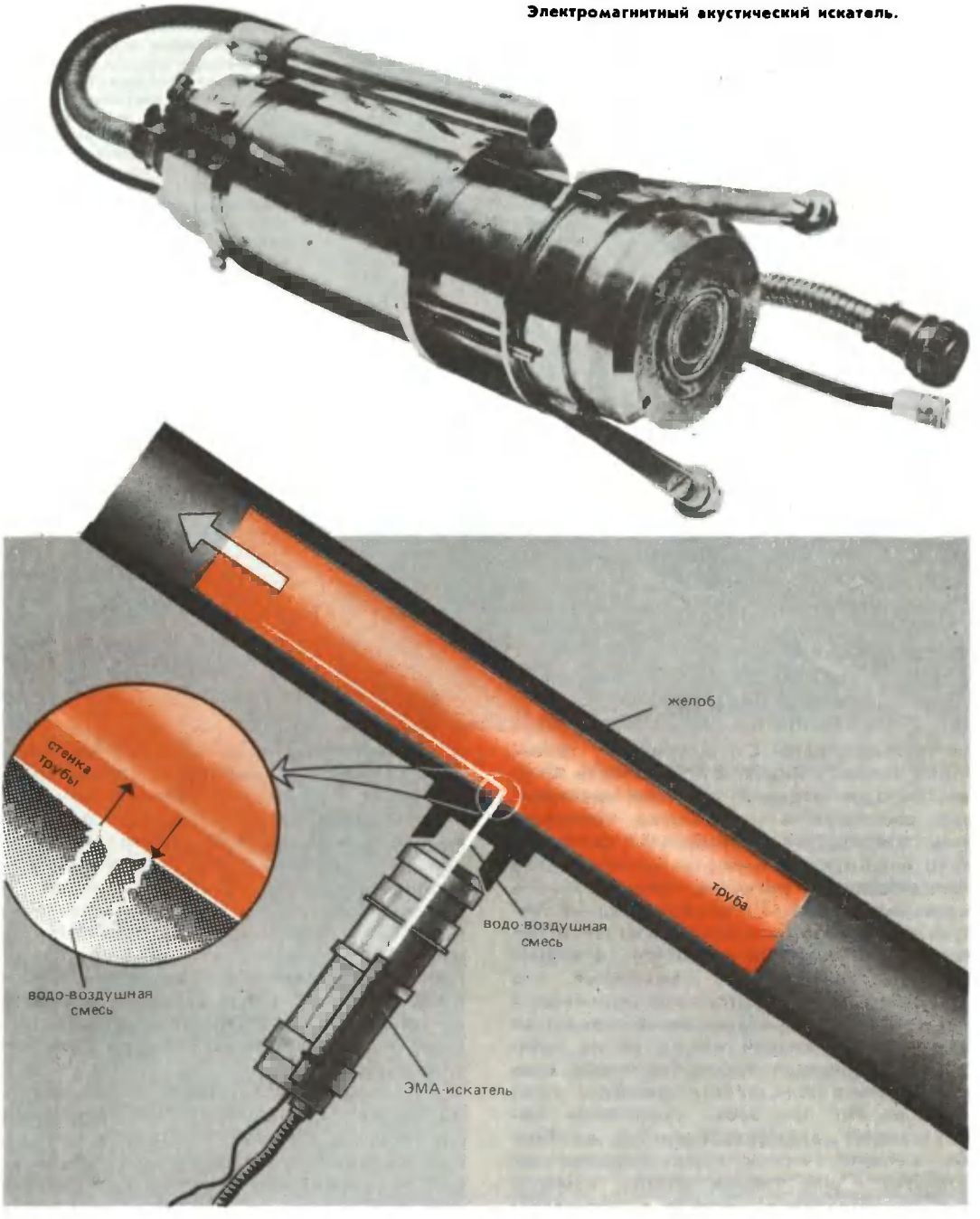
Другое экспериментальное наблюдение связано с квантовым характером движения электронов в металлах при низких температурах, а именно с дискретностью энергетического спектра электронов. Это проявляется во многих макроскопических характеристиках металла — они осциллируют с изменением магнитного поля. В частности, с полем $\vec{H}$ осциллируют скорость и затухание звука[7]. При исследовании электромагнитного возбуждения звука эти осцилляции достаточно просто зарегистрировать, измеряя частоту и затухание акустического резонанса в образце.

Осцилляции затухания звука, конечно, можно наблюдать и традиционными контактными методами, однако уже изучение зависимости амплитуд этих осцилляций от поляризации акустических колебаний при низких температурах не представляется возможным. Ведь для получения различных поляризаций звуковых волн с помощью традиционных методов необходим перемонтаж преобразователя, а

[6] Подробнее о свойствах поверхности Ферми см.: Каганов М. И. Электроны на поверхности Ферми // Природа. 1981. № 8. С. 20—31.

[7] Подробнее см.: Бесконтактное возбуждение ультразвука в металлах // Природа. 1980. № 8. С. 105.

Электромагнитный акустический искатель.



Схематическое изображение процесса измерения толщины горячего проката (трубы) с помощью электромагнитного акустического (ЭМА) искателя. На внешнюю стенку трубы одновременно подаются мощный зондирующий электромагнитный импульс и водовоздушная смесь, которая локально охлаждает поверхность металла. При достижении температуры Кюри в тонком приповерхностном слое металла возникает магнитоупорядоченное ферромагнитное состояние и происходит интенсивная трансформация электромагнитного импульса (белая волнистая стрелка) в звуковой (черная стрелка). Последний достигает внутренней стенки трубы, отражается от нее, а затем вновь преобразуется в электромагнитный сигнал. По времени задержки этого эхо-сигнала и можно определить толщину стенки трубы.

эта операция каждый раз изменяет (ухудшает) свойства образца.

Бесконтактные звуковые измерения были проведены, в частности, на монокристаллах олова, что позволило определить длины свободного пробега отдельных групп электронов на различных участках поверхности Ферми этого металла.

... И КАК — НА ПРАКТИКЕ

Из всего многообразия практических применений электромагнитного возбуждения звука в системах неразрушающего контроля мы остановимся также лишь на двух. Но это будут такие области физических испытаний, в которых практически невозможно использование каких-либо других методов.

Представим себе высокопроизводительное автоматизированное производство по выпуску небольших металлических изделий. Объекты контроля движутся мимо регистрирующих их параметры устройств со скоростями, нередко превышающими 1000 штук в минуту. Звук может контролировать качество таких изделий, однако сколько-нибудь надежный акустический контакт с ними невозможен. При электромагнитном возбуждении звука такого контакта не требуется. За сотые доли секунды в изделии возбуждается стоячая звуковая волна, измеряются ее частота и затухание, и объекты, выходящие по этим параметрам за пределы технологического допуска, автоматически выводятся из производственного потока. Таким образом удается контролировать толщину изделия, его качество и многие другие физико-механические свойства. Приборы, основанные на этих принципах, разработаны учеными Уральского отделения АН СССР и уже используются на машиностроительных предприятиях страны.

Приборы другого типа — также основанные на электромагнитном возбуждении звука — разработаны в Челябинском политехническом институте. Здесь использовано уже упомянутое явление резкого возрастания прямого преобразования электромагнитных волн в звуковые в окрестности точки Кюри — температуры фазового перехода парамагнетик—ферромагнетик. Эти приборы предназначены для контроля горячего металла при изготовлении из него различных типов проката. Так, контроль над изготовлением труб, применяемых в нефтедобывающей промышленности, выглядит примерно так. Разогретая до температур порядка 1000 °С труба (металл при этом находится в парамагнитном состоянии) выходит из трубопрокатного стана и с большой скоростью движется мимо поста контроля. На внешнюю стенку трубы подают мощный зондирующий электромагнитный сигнал и одновременно водовоздушную смесь, которая локально охлаждает металл до температуры перехода парамагнетик—ферромагнетик (в железе она составляет около 770 °С). В тонком приповерхностном слое возникает магнитоупорядоченное состояние и происходит интенсивная трансформация электромагнитного импульса в звуковой. Он достигает внутренней стенки трубы, отражается от нее и вновь преобразуется в электромагнитный импульс. По времени задержки этого эхо-сигнала можно судить о толщине стенки трубы. Полученная информация подается на пульт управления, с которого осуществляется коррекция режимов прокатки, что позволяет существенно оптимизировать производственный процесс (в частности, экономно расходовать металл) и привести контролируемые размеры изделия в соответствие с требованиями ГОСТа.

Можно было бы привести множество других примеров, где уже используется или планируется использовать электромагнитное возбуждение звука[8]. Это и контроль анизотропии физико-механических свойств листового и сложнопрофилированного проката, и проверка подземных многокилометровых газовых магистралей, и работа в условиях повышенной радиации или других неблагоприятных для человека внешних факторов (например, контроль охлаждающих систем атомных электростанций). Таким образом, у прямого преобразования электромагнитных волн в звуковые есть широкая область применения, а дальнейшее изучение самого явления и выработка принципов его использования будут, несомненно, способствовать дальнейшему ускорению научно-технического прогресса.

[8] Обзор современного состояния бесконтактных методов и средств ультразвукового контроля дан в работе: Буденков Г. А., Гуревич С. Ю. // Дефектоскопия. 1981. № 5. С. 5—33; см. также: Бобров В. Т. и др. // Там же. 1985. № 10. С. 73—78.

НОВЫЙ ВИД ЕСТЕСТВЕННОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ

В. А. Рубченя, В. П. Чечев, С. Г. Явшиц

СПУСТЯ почти столетие после того, как А. Беккерель, исследуя соли урана, открыл явление радиоактивного распада, физики обнаружили новый вид естественной радиоактивности — спонтанное испускание ядрами тяжелых элементов фрагментов, более массивных, чем α-частицы. В экспериментах, выполненных в Оксфордском университете Х. Роузом и Дж. Джоунсом, среди продуктов распада ^{223}Ra — ядра, о котором ранее было известно, что оно принадлежит природному радиоактивному семейству ^{235}U и распадается в ^{219}Rn, испуская α-частицу,— были зарегистрированы ядра углерода ^{14}C. Вскоре это открытие было подтверждено измерениями, проведенными в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова (Москва), Институте ядерной физики (Орсе, Франция), Европейском центре ядерных исследований (Женева), Объединенном институте ядерных исследований (ОИЯИ, Дубна) и Аргоннской национальной лаборатории (Чикаго, США). Таким образом, можно считать надежно установленным, что в природе существует еще один вид радиоактивного распада. По аналогии с уже известными α- и β-распадами назовем его f-распадом (от англ. fragment — фрагмент, часть).

Естественно возникает вопрос, как «запрещенный» в подавляющем большинстве учебников по ядерной физике вид радиоактивного распада все-таки приобрел право на жизнь? Было ли его обнаружение неожиданным, или оно было подготовлено как развитием техники эксперимента, так и рядом догадок и предположений о возможном существовании распада, промежуточного между α-распадом и спонтанным делением? Прежде чем дать ответ на эти вопросы, напомним, что такое радиоактивный распад, естественная и искусственная радиоактивность и какие виды радиоактивного превращения ядер были известны к 1984 г.— времени публикации результатов оксфордского эксперимента.

НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ О РАДИОАКТИВНОСТИ

Радиоактивным распадом называется самопроизвольное (спонтанное) превращение неустойчивых атомных ядер в ядра других элементов. Такое превращение всегда сопровождается различного рода излучениями — испусканием α-частиц, электронов, рентгеновским или γ-излучением. Их воздействие на приборы, материалы, биологические ткани служит сигналом о «радиоактивности» исследуемого вещества, хотя, конечно, сам факт превращения одних элементов в другие можно обнаружить лишь с помощью специального анализа.

Исследования радиоактивности были начаты и успешно развивались благодаря работам М. Кюри, Э. Резерфорда, Ф. Содди и других выдающихся физиков и химиков задолго до открытия ядерного строения атомов. Опытным путем было быстро установлено одно из основных свойств радиоактивного распада — экспо-

Валерий Андреевич Рубченя, кандидат физико-математических наук, начальник лаборатории Радиевого института им. В. Г. Хлопина. Область научных интересов — теоретическая ядерная физика, проблемы физики деления.

Валерий Павлович Чечев, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник того же института. Занимается вопросами ядерной спектроскопии, оценки ядерных данных и ядерной астрофизики.

Сергей Георгиевич Явшиц, кандидат физико-математических наук, младший научный сотрудник того же института. Занимается проблемами теоретической ядерной физики.

ненциальное уменьшение числа радиоактивных атомов во времени по закону

$$N(t)=N_0\exp(-t/\tau).$$

Здесь N_0 — начальное число радиоактивных атомов, $N(t)$ — их число по прошествии времени t, τ — константа, называемая временем жизни данного вида атомов. Скорость радиоактивного распада стали характеризовать величиной периода полураспада $T_{1/2}$ — интервалом времени, в течение которого число радиоактивных атомов уменьшается вдвое:

$$N/N_0=\exp(-T_{1/2}/\tau)={}^1/_2,$$

а следовательно,

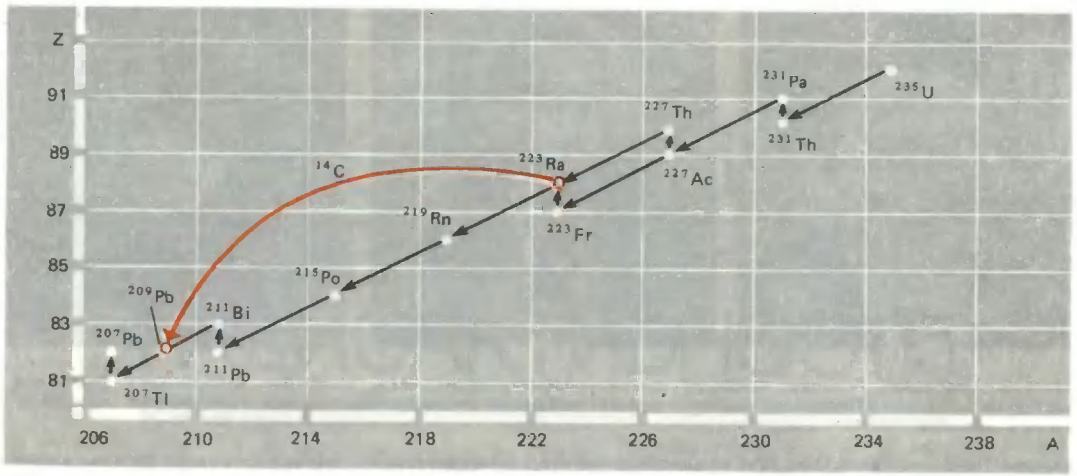
$$T_{1/2}=\tau\ln 2.$$

Время жизни τ и период полураспада $T_{1/2}$ — это своеобразные «опознавательные знаки» радиоактивных атомов.

Сейчас мы знаем, что радиоактивные превращения испытывают не сами атомы, а их ядра, в которых сосредоточена подавляющая часть атомной массы. Атомное ядро состоит из нуклонов: положительно заряженных протонов и нейтральных нейтронов. Конкретная комбинация этих ядерных частиц — некоторое число протонов Z и нейтронов N — определяет тип ядра и его устойчивость к превращению в другую комбинацию (Z′, N′), т. е. устойчивость по отношению к радиоактивному распаду. На опыте зарегистрировано около 2000 атомных ядер — различных комбинаций (Z, N). Большинство из них радиоактивны, и лишь 270 комбинаций образуют стабильные, абсолютно устойчивые к спонтанным превращениям, ядра.

Чтобы отличить атомы с разным составом ядра (Z, N), в современной ядерной физике используют термин «нуклид». Нуклиды с одинаковыми Z, но разными N называют изотопами. Исследуя радиоактивное вещество, мы имеем дело с радионуклидами. В отличие от родственного ему понятия «радиоактивные изотопы», введенного в 1910 г. Ф. Содди, этот термин подчеркивает не только химическую принадлежность данного вида радиоактивных атомов, но и их радиоактивную индивидуальность, выражающуюся в способе распада и определенных значениях его характеристик. Для обозначения нуклида (так же как и изотопа данного химического элемента X) используют символ ${}^{A}_{Z}X_N$, сокращенно ${}^{A}_{Z}X$, или ${}^{A}X$. Число $A=N+Z$ называют массовым числом нуклида.

На заре ядерной физики исследователи радиоактивности могли использовать в своих опытах лишь естественные, содержащиеся в земных породах в достаточно больших количествах радионуклиды — изотопы тория и урана ^{232}Th, ^{235}U, ^{238}U. Три природных радиоактивных семейства, начинающиеся с этих радионуклидов и заканчивающиеся стабильными изотопами свинца, вместе с другими природными радионуклидами, сохранившимися до наших дней со времен первичного ядерного синтеза, создают естественную радио-



Природное радиоактивное семейство актиноурана, начинающееся с долгоживущего радионуклида ^{235}U. Стрелками показаны основные пути распадов. Радиоактивное семейство — это ряд генетически связанных радионуклидов, в которых последующий возникает в результате α- или β-распадов. Каждое семейство имеет родоначальника — нуклид с наибольшим периодом полураспада — и завершается стабильным нуклидом. Массовые числа A нуклидов в семействе могут быть либо одинаковыми (β-распад), либо кратными 4 (α-распад). Если для всех членов ряда A делятся на 4 без остатка, то мы имеем радиоактивное семейство 4n (n — целое число). Если же в остатке будет 1, 2 или 3, то соответственно мы имеем семейства (4n+1), (4n+2), (4n+3). У изображенного на рисунке семейства актиноурана A=4n+3. Известны также семейства ^{232}Th(4n), ^{238}U(4n+2). Цветной линией на рисунке показан обнаруженный недавно новый вид распада с испусканием ядер ^{14}C. Он «нарушает» массовый закон семейства — при распаде ^{223}Ra может образоваться ядро ^{209}Pb, принадлежащее исчезнувшему в природе семейству ^{237}Np(4n+1).

активность на Земле. Все остальные радионуклиды из почти 2000 известных получены искусственным путем в различных ядерных реакциях, осуществленных на созданных человеком ядерных реакторах и ускорителях. Между естественной и искусственной радиоактивностью нет никакого принципиального различия. Радиоактивное ядро, независимо от того, каким способом оно образовалось в ядерной ли реакции или в результате распада другого ядра, естественным или искусственным путем — обладает строго индивидуальными характеристиками распада, наиболее общей из которой является вид радиоактивного распада.

В относительно короткое время после открытия Беккерелем радиоактивности было установлено, что распад природных радиоактивных семейств сопровождается испусканием частиц двух типов: α-частиц, которые, как стало известно позднее, есть не что иное, как ядра гелия ^{4}He, и β-частиц — электронов с непрерывным спектром энергии. Эти частицы и дали название двум хорошо исследованным сейчас видам радиоактивного распада.

Один из них, β-распад, обязан своим происхождением неустойчивости, возникающей при нарушении нейтрон-протонного баланса, необходимого для стабильного существования ядра. Если ядро перенасыщено нейтронами, в нем происходит превращение одного из нейтронов в протон, сопровождающееся рождением и вылетом из ядра электрона. Этот процесс, встречающийся в природных радиоактивных семействах, получил название β^--распада. Заряд ядра в этом случае увеличивается на единицу, а массовое число не меняется, например $^{227}\mathrm{Ac} \xrightarrow{\beta^-} {}^{227}\mathrm{Th}$. Если же в ядре недостает нейтронов, то в нем происходит превращение протона в нейтрон, сопровождающееся испусканием позитрона или захватом электрона, находящегося на ближайшей к ядру орбите. Это так называемые β^+-распад или электронный захват, обозначаемый греческой буквой ε. На этот раз заряд ядра уменьшается на единицу, а массовое число сохраняется. Примером может служить радиоактивное превращение природного радионуклида ^{40}K: $^{40}\mathrm{K} \xrightarrow{\varepsilon,\ \beta^+} {}^{40}\mathrm{Ar}$.

Другой вид естественной радиоактивности, α-распад, связан с зарядовой неустойчивостью тяжелых ядер. При α-распаде из ядра вылетают 2 протона и 2 нейтрона, связанные в ядро ^{4}He. Заряд пер-

вичного ядра при этом уменьшается на две единицы, а массовое число на четыре. Например: $^{223}Ra \xrightarrow{\alpha} {}^{219}Rn$.

Третий вид радиоактивного распада — спонтанное деление — был обнаружен спустя 44 года после открытия радиоактивности. В 1940 г. К. А. Петржак и Г. Н. Флеров впервые наблюдали самопроизвольное деление ядер природного урана, на 99,28 % состоящего из изотопа ^{238}U. Остальные 0,72 % в природной смеси изотопов урана приходятся на ^{235}U, который делится только под действием попадающих в него нейтронов.

При делении, как спонтанном, так и вынужденном (под действием нейтронов или других частиц), обычно образуются 2 осколка — ядра элементов, расположенных в середине периодической таблицы, и испускаются несколько нейтронов. Деление сопровождается значительным выделением энергии (около 200 МэВ на каждый акт).

Вынужденное деление, в отличие от спонтанного, процесс быстрый, относящийся к классу ядерных реакций. Оно происходит с ядром, которое по каким-то причинам (например, под действием нейтронов) оказывается в возбужденном состоянии: $^{235}U + n \rightarrow {}^{236}U^*$. Такое ядро живет не более 10^{-14} с.

Спонтанное деление — процесс относительно медленного ядерного превращения. У всех природных изотопов тяжелых элементов он происходит очень редко: например, испускание α-частиц ядрами ^{238}U почти в 2 млн раз более вероятно, чем спонтанное деление. В течение года в уране делится лишь одно ядро из каждых 10^{16} ядер. Лишь при переходе к более тяжелым искусственным элементам, располагающимся в самом конце периодической таблицы, скорость спонтанного деления возрастает, и этот процесс становится определяющим в распаде их ядер, устанавливая тем самым границу периодической системы элементов.

Помимо этих трех основных видов радиоактивности в экспериментах наблюдаются и другие процессы радиоактивного распада экзотических ядер, в которых соотношение между протонами и нейтронами сильно отличается от обычного. К ним относятся, например, протонная и двухпротонная радиоактивности, встречающиеся у некоторых искусственных, сильно перегруженных протонами радионуклидов[1].

Отчего же происходят различные процессы радиоактивного распада, какова их природа?

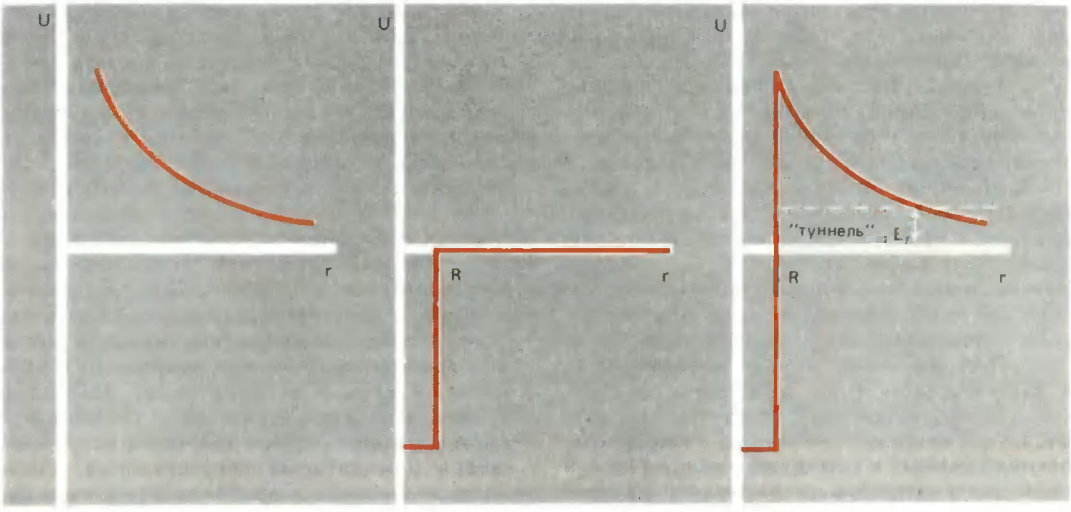
ПРОИСХОЖДЕНИЕ РАДИОАКТИВНОСТИ

Атомное ядро, как мы уже говорили, представляет собой систему нукло-

[1] Обнаружена протонная радиоактивность // Природа. 1983. № 7. С. 104; Первые наблюдения двухпротонной активности ядер // Природа. 1984. № 3. С. 100.

Сводка результатов наблюдений f-распада, опубликованных в 1984—1986 гг.

Распадающееся ядро	Фрагмент	Место проведения опытов	Способ измерений	Число зарегистрированных событий	Вероятность f-распада по отношению к α-распаду
^{223}Ra	^{14}C	Оксфордский университет	(ΔE—E)-телескоп	8+11	$(8,5\pm2,5)\cdot10^{-10}$
^{223}Ra	^{14}C	Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова	(ΔE—E)-телескоп	7	$(7,6\pm3,0)\cdot10^{-10}$
^{223}Ra	^{14}C	Институт ядерной физики (Орсе)	Магнитный спектрометр с (ΔE—E)-телескопом	11	$(5,5\pm2,0)\cdot10^{-10}$
^{223}Ra	^{14}C	Калифорнийский университет (Беркли)	Магнитный спектрограф	24	$(4,7\pm1,3)\cdot10^{-10}$
^{223}Ra	^{14}C	ЦЕРН (Женева)	Трековый детектор	56	$(6,1\pm1,0)\cdot10^{-10}$
^{222}Ra	^{14}C	ЦЕРН	Трековый детектор	52	$(3,7\pm0,6)\cdot10^{-10}$
^{224}Ra	^{14}C	ЦЕРН	Трековый детектор	22	$(4,3\pm1,2)\cdot10^{-11}$
^{231}Pa	Ne	ОИЯИ	Трековый детектор	12+13	$6\cdot10^{-12}$
^{232}U	^{24}Ne	Калифорнийский университет	Трековый детектор	31	$(1,0\pm0,25)\cdot10^{-12}$
^{233}U	Ne	ОИЯИ	Трековый детектор	16	$(7,5\pm2,5)\cdot10^{-13}$
^{233}U	^{24}Ne	ОИЯИ	Радиохимия	—	$9,5\cdot10^{-13}$



Зависимость от расстояния r потенциальной энергии U взаимодействия положительно заряженной частицы с ядром: слева — кулоновское отталкивание, в середине — ядерное притяжение, справа — комбинация ядерного и кулоновского взаимодействий. Кулоновский потенциальный барьер препятствует как проникновению в ядро, так и вылету из него положительно заряженных частиц с энергией E_r, меньшей высоты барьера. Однако существует квантовомеханический туннельный эффект, который допускает (с некоторой вероятностью) выход таких частиц из ядра путем «просачивания» через барьер. R — радиус ядра.

нов, связанных силами ядерного притяжения. Однако в такой системе действуют и другие силы — электростатического (кулоновского) отталкивания и слабого взаимодействия. Для устойчивости атомного ядра нужно, чтобы в нем было вполне определенное соотношение между числом протонов и нейтронов: в легких ядрах их должно быть примерно поровну, а в тяжелых ядрах, где кулоновское отталкивание между протонами сказывается сильнее, нейтронов должно быть примерно в полтора раза больше протонов.

При небольшом отклонении соотношения нейтронов и протонов в ядре от оптимального энергия связи нейтрона (или протона) хоть и уменьшается, но не настолько, чтобы появилась вероятность выброса их из ядра. В этом случае становится возможным лишь относительно медленное превращение нейтрона в протон или наоборот за счет сил слабого взаимодействия. Именно они ответственны за β-распад и определяют довольно большое время жизни радиоактивного ядра по отношению к этому виду распада.

Остальные виды радиоактивного распада происходят за счет комбинации сильного (ядерного) и кулоновского взаимодействий. Кулоновские и ядерные силы на много порядков больше сил слабого взаимодействия, поэтому сравнительно малая вероятность спонтанного деления и α-распада определяется другой причиной — необходимостью преодолеть потенциальный энергетический барьер, «охраняющий» ядро от мгновенного распада на две положительно заряженные части. Нестабильность тяжелого ядра по отношению к распаду на два новых ядра (в качестве одного из них может быть α-частица или осколок деления) возникает, когда энергия связи распадающегося ядра $E_{св}$ меньше суммы энергий связи ядер, образующихся в результате распада: $E_{св} < E^1_{св} + E^2_{св}$. Тяжелое ядро, в котором возникает избыточное кулоновское отталкивание, не в состоянии выбросить протон или тем более два протона из-за их еще относительно большой связанности в ядре. Однако ему становится энергетически выгодно испустить α-частицу — весьма компактную систему из двух протонов и двух нейтронов с большой энергией связи — либо разделиться (правда, в более редких случаях) на два устойчивых ядра с оптимальным соотношением нейтронов и протонов.

Для осуществления α-распада необходимо предварительное образование в ядре четырехнуклонной ассоциации из двух протонов и двух нейтронов, так как в составе ядра α-частицы нет. Спонтанное деление возникает в результате предварительной деформации ядра, кото-

рую описывают обычно с помощью модели капли, которая эллипсоидально растягивается, затем приобретает форму гантели с последующим разрывом перетяжки. В обоих случаях кулоновский барьер задерживает вылет из ядра продуктов распада — α-частицы или осколка деления.

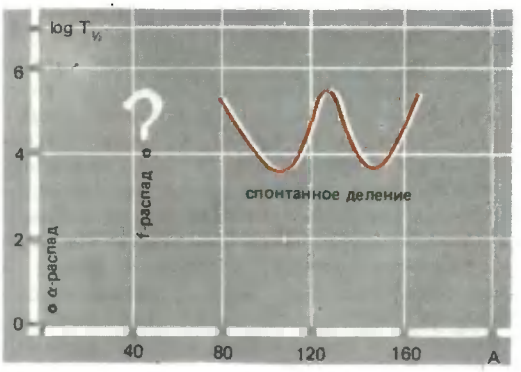
Чтобы понять, как образуется потенциальный барьер при совместном действии ядерных и кулоновских сил, вспомним, что потенциальные энергии отталкивания и притяжения противоположны по знаку. Энергия кулоновского отталкивания положительна и растет с уменьшением расстояния r между зарядами Z_1 и Z_2 по закону Z_1Z_2/r. Энергия ядерного притяжения отрицательна и отлична от нуля только на расстояниях, не превышающих 10^{-13} см. Из-за большой силы ядерного притяжения любая частица, состоящая из нуклонов, подходя к ядру на расстояние действия ядерных сил, как бы «проваливается» в глубокую потенциальную яму. Ее нуклоны теряют индивидуальность и наряду с другими удерживаются в ядре действующими в нем силами притяжения. Эту ситуацию принято изображать на диаграмме, описывающей зависимость потенциальной энергии от расстояния, двумя прямыми: горизонтальной и вертикальной, пересекающей ось абсцисс в точке, соответствующей радиусу ядра R (так называемая прямоугольная потенциальная яма). А общая картина взаимодействия положительно заряженной частицы Z_1 с ядром Z_2 получается в результате наложения кулоновского и ядерного взаимодействий. Ядро оказывается окруженным так называемым кулоновским потенциальным барьером, который препятствует как проникновению в ядро, так и вылету из него положительно заряженных частиц с энергией, меньшей высоты барьера. Подобно тому как путешественнику, поднявшемуся на вершину вулкана и спустившемуся в его кратер, надо снова затратить энергию на подъем, чтобы выбраться из кратера, положительно заряженная частица для выхода из ядра должна обладать энергией, достаточной для преодоления потенциального барьера. Оказывается, однако (и здесь аналогию с путешественником можно продолжить), что в отличие от классической механики, полностью запрещающей переход через барьер, если энергия частицы меньше его высоты, квантовая механика, действующая в микромире, допускает некоторое «просачивание» частиц сквозь потенциальный барьер. Это явление получило образное название туннельного эффекта (путешественник, вместо того чтобы снова подниматься на вершину, роет туннель с выходом на склоне горы).

Туннелирование частиц через потенциальный барьер, как и все квантовомеханические эффекты,— процесс вероятностный. Вероятность туннелирования быстро падает с увеличением массы частицы и разности между высотой барьера и энергией частицы. Для кулоновского барьера эта вероятность тем больше, чем меньше заряды Z_1 и Z_2. Если атомное ядро нестабильно по отношению к распаду на две частицы с зарядами Z_1 и Z_2, т. е. величина $E_f=E^1_{св}+E^2_{св}-E_{св}$, называемая энергией распада, положительна, то кулоновский барьер в состоянии удержать ядро от распада лишь в течение какого-то времени τ. Это и есть уже знакомое нам время жизни радиоактивного ядра. В рассматриваемом случае оно определяется вероятностью туннелирования частицы, вылетающей из ядра, и чем больше ее энергия, тем быстрее происходит распад.

ВОЗМОЖЕН ЛИ f-РАСПАД? ПРЕДСКАЗАНИЯ И ГИПОТЕЗЫ

К 1984 г.— времени окончания оксфордского эксперимента — были известны два основных вида радиоактивности, связанной с туннелированием продуктов распада через кулоновский потенциальный барьер. Это уже знакомые нам α-распад и спонтанное деление. В первом случае потенциальный барьер образуется в результате взаимодействия α-частицы с кулоновским полем дочернего ядра, во втором — в результате комбинации ядерных и кулоновских сил при деформации ядра в процессе деления.

Сходство обоих процессов наводило на мысль рассматривать их как разновидности одного и того же механизма потери массы и заряда тяжелыми ядрами. Такое предположение высказывалось еще на ранней стадии изучения деления атомного ядра Н. Бором и Дж. Уилером (1939) и Я. И. Френкелем (1946). Однако конкретные теоретические исследования, связанные с трактовкой α-распада как крайне асимметричного деления, и оценки вероятности промежуточных видов распада с испусканием частиц, тяжелее ядра гелия, но легче известных осколков деления ($4<A<80$), были проведены лишь в послед-



Различные виды радиоактивного распада тяжелых ядер, связанные с туннелированием продуктов распада через кулоновский потенциальный барьер (данные представлены для ^{252}Cf). По оси ординат отложены логарифмы периода полураспада относительно данной моды распада, по оси абсцисс — массовые числа продуктов распада. Новый вид радиоактивного распада (f-распад), не обнаруженный у ^{252}Cf, занимает промежуточное положение между α-распадом и спонтанным делением, заполняя область ядерных масс от 4 до 80.

ние годы в работах А. Сэндулеску, Д. Н. Поенару и В. Грайнера[2]. Первая из этих работ была опубликована за 4 года до открытия Роуза и Джоунса.

Гипотеза о существовании распада с вылетом ядер с $A>4$ была выдвинута на основе геохимических данных Ю. А. Шуколюковым еще в 1966 г. Чтобы объяснить наблюдаемый избыток изотопов неона и аргона в урановых минералах, он предположил, что в природе должно иметь место асимметричное деление ядер урана с испусканием ^{21}Ne, ^{22}Ne, ^{38}Ar, ^{40}Ar и других легких ядер. Им же был предсказан период полураспада для такого типа деления ^{235}U: 10^{11}—10^{14} лет, что соответствует вероятности по отношению к α-распаду 10^{-2}—10^{-5}. Современный эксперимент дает для такой вероятности значительно меньшую величину — не более 10^{-9}.

Другой тип предсказаний и гипотез о возможности нового типа распада, которые высказывались экспериментаторами, не примирившимися с отсутствием опытных данных в этой области, более близок представлениям об α-распаде. Основная логика их рассуждений сводилась к следующему.

Среди радиоактивных ядер можно найти такие, для которых энергетический выигрыш ($E_f=E^1_{св}+E^2_{св}-E_{св}>0$) имеет место не только для α-частицы, но и для других достаточно устойчивых легких ядер, например ядер углерода, азота и кислорода. Если тяжелое ядро испускает α-частицу, сформированную из нуклонов ядра, не исключено такое же образование в ядре трех или четырех α-частиц, которые могут объединиться в ядро углерода ^{12}C или кислорода ^{16}O. Следовательно, когда в радиоактивных семействах встречается цепочка нескольких последовательных α-распадов, можно попытаться найти на опыте и более редкие виды распада с испусканием ядер тяжелее гелия. Зачем, к примеру, в природном радиоактивном семействе урана-радия ($A=4n+2$) радиоактивному ядру ^{226}Ra проходить длинный путь превращения в стабильный ^{214}Pb:

$$^{226}Ra \xrightarrow{\alpha} {}^{222}Rn \xrightarrow{\alpha} {}^{218}Po \rightarrow {}^{214}Pb,$$

последовательно испуская 3 α-частицы, когда это же можно сделать посредством одноразового испускания ядра углерода ^{12}C:

$$^{226}Ra \rightarrow {}^{12}C + {}^{214}Pb.$$

Оценка вероятности такого распада и аналогичных ему, а также проекты возможных экспериментов, предлагались в 70-х годах различными исследователями. Успех, как уже известно, пришел к Х. Роузу и Дж. Джоунсу. После двух длительных серий опытов с источником из радионуклида ^{227}Ac, принадлежащего радиоактивному семейству актиноурана ($A=4n+3$), ими был открыт f-распад. Однако продуктом нового вида распада оказалось не ядро углерода ^{12}C, а более тяжелое ядро ^{14}C.

КАК БЫЛ ОТКРЫТ f-РАСПАД

В первой серии опытов Роуза и Джоунса, которая длилась 194 дня, было зарегистрировано 8 событий вылета ядер углерода ^{14}C из ^{223}Ra, во второй — продолжительностью 189 дней — 11 таких событий. Зная число α-частиц, испускаемых источником в единицу времени, исследователи пришли к выводу, что на каждые 10^{10} α-частиц, испускаемых ^{223}Ra, приходится $8,5\pm2,5$ ядер ^{14}C, иными словами, на миллиард α-частиц испускается примерно одно ядро ^{14}C. Это говорит о редкости событий f-распада как одной из причин его столь позднего обнаружения в экспериментах.

Другая причина связана с решением

[2] Сэндулеску А. и др. // Физ. элемент. частиц и ат. ядра. 1980. Т. 11. Вып. 6. С. 1335—1368.

трудной экспериментальной задачи: необходимо было не только выделить малое число событий с вылетом ^{14}C на фоне огромного числа α-частиц, но и научиться различать весьма похожие по характеру регистрируемых импульсов события, такие как вылет ядер углерода и множественное наложение импульсов от отдельных α-частиц. Дело в том, что если импульсы отдельных α-частиц в счетчике были разделены промежутком времени менее чем 10^{-7} с, то они могли быть зарегистрированы как двойные, тройные и т. д. α-группы.

Отделить α-частицы и множественные α-группы от ядер углерода удалось благодаря применению так называемой техники (ΔE—E)-измерений, использующей телескопическую систему из двух полупроводниковых кремниевых счетчиков. Первый из счетчиков «телескопа» представляет собой очень тонкую кремниевую пластинку (фактически пленку), проходя через которую частица теряет за счет ионизации атомов кремния некоторую малую долю своей энергии ΔE. Величина ΔE характеризует ионизующую способность частицы — она тем больше, чем больше заряд частицы и меньше ее скорость. Второй счетчик, в котором частица полностью останавливается, регистрирует оставшуюся часть ее кинетической энергии E — ΔE. Он представляет собой обычный кремниевый детектор (с более толстым слоем кремния), широко используемый в ядерной физике. Оба счетчика включены в схему совпадений.

Таким образом, телескоп «просматривает» проходящие через него заряженные частицы, определяя для каждого события их энергию и ионизующую способность. Комбинация величин ΔE и E дает сведения о типе частиц, их заряде и энергии. Результаты опыта представляют обычно в виде (ΔE—E)-диаграммы, на которой события с вылетом ядер с разными (A, Z) и энергией располагаются в строго определенных местах. События с множественным наложением α-частиц и вылетом ядер углерода оказываются в опытах Роуза и Джоунса в разных местах диаграммы, что позволяет надежно интерпретировать полученные ими результаты как первое наблюдение нового вида радиоактивного распада: $^{223}Ra \rightarrow {}^{14}C + {}^{209}Pb$.

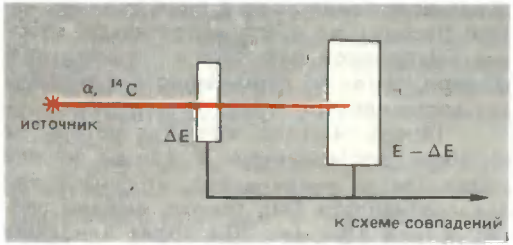
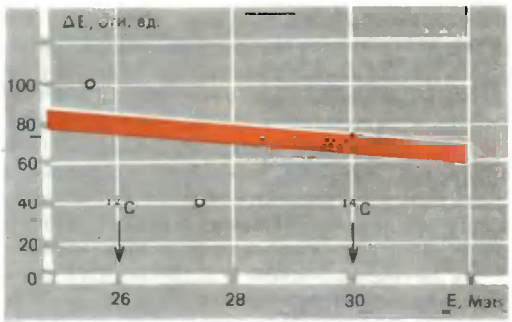


Схема (ΔE—E)-измерений с помощью телескопической системы из двух кремниевых счетчиков. Первый из них регистрирует ионизационные потери ΔE проходящей через тонкий слой кремния заряженной частицы, второй — энергию E — ΔE, теряемую заряженной частицей вплоть до ее полной остановки в веществе детектора. Оба счетчика включены в схему совпадений.



Результаты (ΔE — E)-анализа в опыте Роуза и Джоунса. Цветной полосой выделена разрешенная область энергий для событий с вылетом ядер углерода. Стрелками указаны значения энергии E_f, ожидаемые для f-распада ^{223}Ra с испусканием ^{12}C и ^{14}C. Нижний кружок соответствует четырехкратному наложению импульсов α-частиц, верхний — событию, зарегистрированному во время грозы. Двойные и тройные наложения импульсов α-частиц не попали на диаграмму — они регистрируются гораздо ниже и левее указанной области энергий. 11 точек изображают события с испусканием ^{14}C, зафиксированные во время 189-дневной экспозиции (сбор информации проводился автоматически, через каждые 12 ч).

Подтверждения открытия нового вида естественной радиоактивности последовали вскоре после публикации работы Х. Роуза и Дж. Джоунса[3].

Одно из них было получено уже летом 1984 г. в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова с помощью той же методики (ΔE—E)-измерений, которую использовали Роуз и Джоунс, но с источником ^{227}Ac большей активности. В течение 30-дневной экспозиции было зарегистрировано 7 событий испускания ядер углерода. Меньшее время экспозиции было связано с применением более сильного источника и усовершенствованного (ΔE—E)-телескопа.

Весьма изящный эксперимент, окончательно подтвердивший углеродную ра-

[3] Rose H. J., Jones G. A. //Nature. 1984. Vol. 307. P. 245—247; см. также: Открыт новый вид естественной радиоактивности // Природа. 1984. № 9. С. 104.

диоактивность ^{223}Ra, был выполнен в том же 1984 г. в Институте ядерной физики в Орсе. Здесь также был использован телескоп из (ΔE—E)-счетчиков, но уже после отбора частиц в магнитном поле спектрометра.

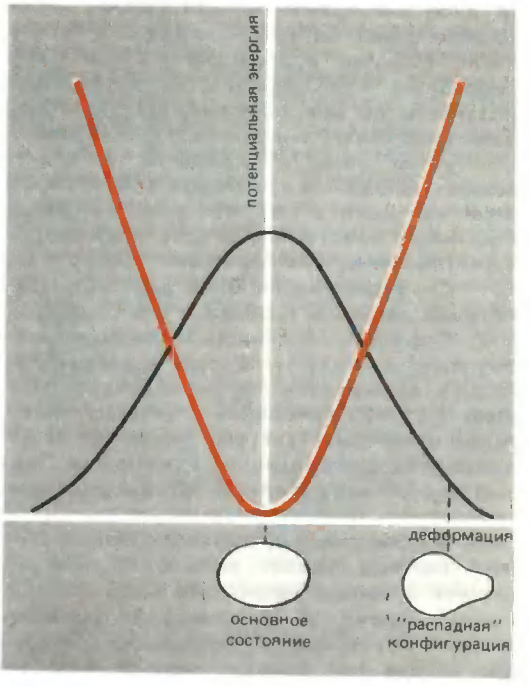
В магнитном поле, как известно, заряженные частицы движутся по разным траекториям в зависимости от их заряда, массы и энергии. Изменяя магнитное поле спектрометра, можно обеспечить попадание в детектор частиц определенного типа и с заданной энергией. Применив магнитный спектрометр, французские физики в результате 5-дневной экспозиции сильного источника ^{227}Ac зарегистрировали 11 событий вылета ядер углерода ^{14}C из ^{223}Ra.

Аналогичный эксперимент был выполнен в 1985 г. в Аргоннской национальной лаборатории. За 6 суток счета числа распадов ^{223}Ra было зарегистрировано 24 события с вылетом ^{14}C. Отличительная особенность американского эксперимента — использование вместо ^{227}Ac другого источника — ^{227}Th ($T_{1/2}$=19 суток). В цепочке распадов $^{227}Ac \xrightarrow{\beta^-} {}^{227}Th \xrightarrow{\alpha} {}^{223}$ Ra он стоит ближе к исследуемому ^{223}Ra, являясь его материнским радионуклидом.

Для длительных опытов, каковыми были эксперименты Роуза и Джоунса, нужен был источник на основе долгоживущего изотопа (период полураспада ^{227}Ac около 22 лет). Такой источник содержит в равновесии интересующий нас радионуклид ^{223}Ra, период полураспада которого всего 11 суток. Если же проводить опыты длительностью всего несколько дней, то можно использовать источник, изготовленный непосредственно из ^{223}Ra. Впервые это сделали физики из Калифорнийского университета в Беркли. Они получили ядра ^{223}Ra путем облучения ториевой мишени протонами, ускоренными в синхроциклотроне ЦЕРНа, и последующего разделения изотопов на электромагнитном сепараторе. Для регистрации редких событий вылета ^{14}C авторы эксперимента использовали трековые детекторы, чувствительные к частицам с зарядом, большим или равным 5 (напомним, что заряд ядра углерода равен 6, а α-частицы — 2). Такие детекторы позволяют по длине и форме трека однозначно идентифицировать сильноионизующие частицы на фоне частиц с меньшей ионизующей способностью (в данном случае на фоне α-частиц).

Новая методика, дополненная калибровкой детекторов на пучках тяжелых ионов, позволила авторам работы не только подтвердить предыдущие наблюдения вылета ядер ^{14}C из ^{223}Ra, но и обнаружить два новых случая радиоактивного распада с испусканием ^{14}C:

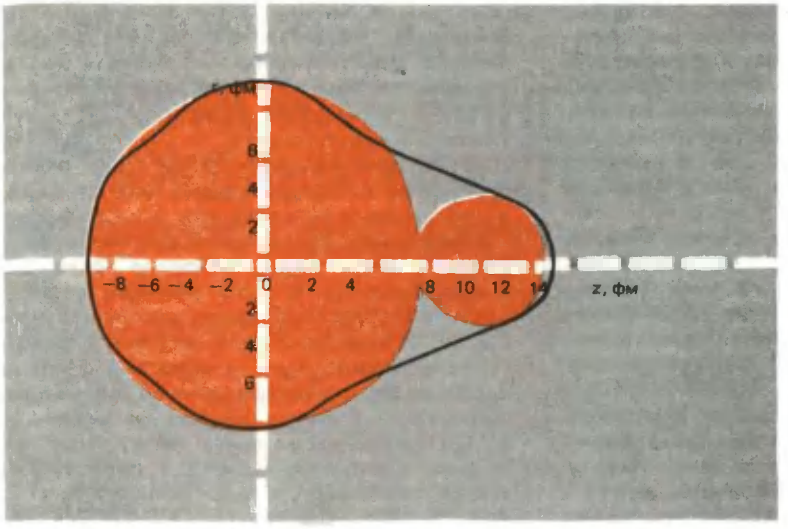
$$^{222}Ra \rightarrow {}^{14}C + {}^{208}Pb \text{ и } {}^{224}Ra \rightarrow {}^{14}C + {}^{210}Pb.$$



Зависимость потенциальной энергии ядра (цветная кривая) от его конфигурации (показана под осью абсцисс) при нулевых колебаниях около основного состояния. Черная кривая описывает вероятность появления различных конфигураций ядра.

Итак, в результате нескольких экспериментов, последовавших за опытами Роуза и Джоунса, физики получили убедительное подтверждение не только самого факта существования нового вида радиоактивного распада, но и его вероятности, впервые измеренной для ^{223}Ra в оксфордском эксперименте: по отношению к α-распаду она составляет 10^{-9}.

Теперь настало время ответить на вопросы, поставленные в самом начале статьи. Так ли закономерно, что новый вид радиоактивности был открыт именно сейчас, а не в 60-х или 70-х годах или даже раньше? Безусловно, малая вероятность α-распада затруднила его обнаружение. Лишь с появлением хороших трековых детекторов, строительством светосильных магнитных спектрометров и созданием (ΔE—E)-телескопов с полупроводниковыми счетчиками стал возможен уверенный изби-



«Распадная» конфигурация материнского ядра (черная линия), восстановленная путем теоретических расчетов по известным из эксперимента конфигурациям дочернего ядра и фрагмента в точка касания. Пример приведен для распада $^{223}Ra \rightarrow {}^{14}C + {}^{209}Pb$ (использованы цилиндрические координаты; значения r и z даны в фемтометрах: 1 фм = $=10^{-13}$ см).

рательный анализ редких событий испускания искомых заряженных частиц на фоне большого числа частиц других типов. В то же время следует отметить, что события с вероятностью 10^{-9} по отношению к α-распаду нельзя считать недоступными для экспериментальной техники 60-х—70-х годов. Достаточно вспомнить эксперименты по наблюдению космических частиц с помощью фотоядерных эмульсий и успешные опыты по регистрации спонтанного деления в тяжелых ядрах, таких как ^{232}U, ^{233}U, ^{234}U, ^{241}Am и др., для которых вероятность процесса по отношению к α-распаду составляет 10^{-12}—10^{-11}. Приходится констатировать, таким образом, в качестве дополнительной (а может быть, и основной?) причины позднего обнаружения f-распада определенную инерционность устоявшихся в течение многих десятилетий представлений о возможных видах радиоактивного распада. Экспериментальная техника была готова к обнаружению f-распада по крайней мере лет за 10 до его открытия. И лишь опыты Роуза и Джоунса сдвинули эти исследования с мертвой точки.

Теперь экспериментаторы и теоретики интенсивно включились в исследование новых видов f-распада, в том числе таких, в которых испускаются еще более тяжелые фрагменты, нежели ^{14}C. Уже обнаружены распады ^{231}Pa, ^{232}U и ^{233}U с вылетом ядер неона. Не исключено, что в самое ближайшее время список экспериментальных работ в этом направлении существенно пополнится. Поэтому особую значимость приобретают количественные предсказания вероятности f-распада для различных ядер. Правильность таких предсказаний может основываться лишь на четком понимании механизма f-распада, однако он еще до конца не выяснен и требует дальнейшего изучения.

ВОЗМОЖНЫЙ МЕХАНИЗМ f-РАСПАДА

Мы изложим нашу точку зрения на f-распад, которая отличается от представлений о новом виде распада как разновидности асимметричного деления и содержит попытку объяснить промежуточное положение f-распада между α-распадом и спонтанным делением[4]. Мы исходим из того, что, несмотря на всю привлекательность единого описания α-распада и деления, нельзя не учитывать заметные принципиальные различия в механизме этих процессов.

Если процесс спонтанного деления целиком определяется свойствами коллективного движения большой амплитуды, то α-распад связан с образованием в распадающемся ядре четырехнуклонных ассоциаций и их движением как целого в поле дочернего ядра. Образование осколков при делении является результатом деформации всего ядра, а четырехнуклонные ассоциации образуются с наибольшей вероятностью вблизи поверхности ядра и удерживаются

[4] Рубченя В. А. и др. // Известия АН СССР. Сер. физ. 1986. Т. 50. № 5. С. 1016—1020.

окружающим его кулоновским барьером. Эти различия и могут дать, как нам представляется, ключ к пониманию промежуточного процесса, каковым является f-распад.

Простые оценки, основанные на экстраполяции экспериментальных данных по распределению масс осколков спонтанного деления, показывают, что выход осколков с массой, близкой к массе фрагментов f-распада, оказывается много меньше экспериментальных значений. Такой результат представляется, на наш взгляд, естественным, поскольку для образования ^{14}C при распаде ^{223}Ra не требуется коренной перестройки ядра с участием всех нуклонов. В то же время, если подойти к объяснению f-распада со стороны α-распада, трудно предположить, что в ядрах радия существуют нуклонные ассоциации из 14 нуклонов (^{14}C) со столь большой вероятностью образования, какая следует из наблюдения углеродного распада ^{223}Ra. Следовательно, полностью исключить роль коллективного движения в механизме образования f-распада нельзя, и разумным путем объяснения нового вида радиоактивности представляется рассмотрение процессов, затрагивающих только часть нуклонов в области, близкой к поверхности ядра.

Такие процессы хорошо известны и представляют собой колебания поверхности ядра. В ядерных реакциях возбуждение таких колебаний ведет к появлению так называемых гигантских резонансов — широких максимумов в энергетической зависимости вероятности поглощения частиц. В основном состоянии невозбужденное ядро тоже испытывает периодические колебания формы — это известные из квантовой механики нулевые колебания.

Если в процессе нулевых колебаний ядро достигает грушевидной формы, то может образоваться фрагмент и остаточное ядро, удерживаемое некоторое время, как и при α-распаде, кулоновским барьером. Вероятность достижения такой «распадной» конфигурации можно найти, зная амплитуды колебаний, в процессе которых ядро деформируется от почти сферической формы к грушевидной конфигурации распадного состояния.

Что можно ожидать в указанном подходе? Время жизни ядра по отношению к f-распаду определяется здесь двумя факторами: вероятностью «распадной» конфигурации и проницаемостью потенциального барьера. Поскольку вероятность колебаний быстро убывает с ростом их амплитуды, то ядра, деформированные в основном, невозбужденном состоянии, должны испытывать f-распад с большей вероятностью. Действительно, из экспериментов и расчетов известно, что изотопы радия имеют статическую деформацию двух типов: квадрупольного и октупольного. Деформация квадрупольного типа ответственна за эллипсоидальную форму ядра, а деформация октупольного типа приводит к появлению грушевидной формы и приближает, тем самым, основное состояние к «распадному». В свою очередь, вероятность прохождения через потенциальный барьер определяется его высотой, массами туннелирующих ядер и энергией распада E_f. Наиболее существенным образом проницаемость барьера зависит от величины E_f. Тот экспериментальный факт, что в конечном состоянии f-распада практически всегда наблюдается ядро свинца с массовым числом, близким к A=208, связан именно с этим обстоятельством. Ядро ^{208}Pb имеет оптимальное число протонов (Z=82) и нейтронов (N=126). Это самая устойчивая нуклонная система в рассматриваемой области ядерных масс. Такие ядра называют «дважды магическими». Поэтому f-распад с образованием ядер свинца характеризуется относительно большой энергией распада и, следовательно, большой вероятностью туннелирования по сравнению с другими остаточными ядрами.

Поиски f-распада в области ядер тяжелее плутония должны решить вопрос о его механизме. Если изложенные выше взгляды справедливы, вероятность f-распада для трансплутониевых нуклидов близка к нулю. Если же f-распад представляет собой разновидность спонтанного деления, то, согласно расчетам А. Сэндулеску с соавторами, его вероятность для самых тяжелых ядер падает не столь резко. Слово за новыми экспериментами.

ИСТОРИЧЕСКИЙ БИОМОНИТОРИНГ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

А. М. Никаноров,
доктор геолого-минералогических наук

А. В. Жулидов,
кандидат биологических наук

Гидрохимический институт Госкомгидромета
Ростов-на-Дону

В Гидрохимическом институте Госкомгидромета разрабатывается метод слежения за динамикой загрязнения природной среды тяжелыми металлами на основе сравнительного изучения их содержания в современных биологических объектах и в аналогичных образцах исторического прошлого. Необходимость разработки такого метода диктуется потребностями в определении фоновых уровней загрязнения и в прогнозировании антропогенного воздействия на биосферу, а для этого требуется знать, как изменялся химический состав природных объектов во времени.

Условно историю биомониторинга тяжелых металлов можно отсчитывать с середины XIX в., когда в криминалистике были проведены исследования по определению мышьяка в костной и иных тканях ряда людей, в том числе эксгумированных после захоронения. Однако в предложенном понимании метод берет начало с конца 60-х годов XX в., когда шведские ученые А. Рюлинг и Г. Тайлер для изучения динамики тяжелых металлов в атмосфере за 150 лет проанализировали их содержание во временной серии гербарных сборов лишайников и мхов. В дальнейшем аналогичные исследования проводились на цветковых растениях, беспозвоночных и позвоночных животных, тканях людей[1]. Со временем метод стало возможным применять не только для определения динамики содержания тяжелых металлов в коллекционных образцах, но и, что особенно важно, для выявления основного источника загрязнения экосистем этими металлами. У нас в стране такая работа впервые была проведена на территории Воронежского биосферного заповедника[2].

Для этих исследований были использованы образцы гербарных и лекарственных сборов двух видов растений — кубышки желтой и вахты трехлистной, проводившихся на р. Усмани в 1913—1915, 1939, 1947, 1958 и 1977—1980 гг. В образцах атомно-абсорбционным методом было определено содержание свинца и ртути, при этом выявилась тенденция его роста, что однозначно свидетельствует об усилении антропогенного воздействия на реку. Вместе с тем обнаружен неравномерный темп роста содержания свинца в обоих видах растений в различные периоды: с 1913—1915 по 1939 г. содержание не изменилось, а с 1939 по 1947 г. достоверно возросло. Это связано с массированным загрязнением природной среды, в частности свинцом, в период военных действий на территории данного района во время Великой Отечественной войны. В дальнейшем, с 1947 по 1958 г. достоверный рост содержания свинца в изученных видах растений не выявлен, однако после 1958 г. вновь зафиксировано увеличение его концентрации. В целом послевоенный период характеризовался меньшим ростом содержания свинца в коллекционных образцах по сравнению с 1939—1947 гг. Важно отметить, что такой пониженный рост концентрации свинца за период с 1947 г. по настоящее время вовсе не является результатом насыщения растений свинцом: более высокие концентрации металла в образцах 1977—1984 гг., которые можно рассматривать как фоновые для современной европейской лесостепи, могут еще существенно возрастать по мере увеличения содержания свинца в реке.

Достоверных изменений в содержании ртути в этих же образцах по годам не обнаружено. Это позволяет предположить, что основной причиной роста содержания ртути в р. Усмани на протяжении XX в. могло быть глобальное ее поступление в биосферу.

Перспективы развития метода исторического биомониторинга в значительной мере связаны с исследованиями по определению фоновых уровней концентрации тяжелых металлов в природных средах. В более узком смысле эти перспективы связаны с проблемой сохранения целостности музейных и частных коллекционных образцов (именно это в ряде случаев становится определяющим при выборе объектов и постановке задач исследования). Здесь не обойтись без нейтронно-активационного анализа: он позволяет с успехом определять содержание большой группы химических элементов, не разрушая образцов[3].

[1] Подробнее см.: Никаноров А. М., Жулидов А. В., Покаржевский А. Д. Биомониторинг тяжелых металлов в пресноводных экосистемах. Л., 1985.

[2] Никаноров А. М., Жулидов А. В. // Доклады АН СССР. 1981. Т. 258. С. 1019—1021.

[3] Подробнее см.: Никаноров А. М., Жулидов А. В. Палеобиомониторинг тяжелых металлов: история, достижения, перспективы // Тр. III Междунар. симп. «Комплексный глобальный мониторинг состояния биосферы». Л., 1986.

ЖИЗНЬ

Сообщества сестонофагов: горгоновые и мадрепоровые кораллы с сидящими на них офиурами. Слева — стеклянные губки (гора Эррор в северо-западной части Индийского океана, глубина 1100 м).

НА ПОДВОДНЫХ ГОРАХ

А. Н. Миронов, А. М. Сагалевич

Горгоновые кораллы на рифте Таджура (северо-западный район Индийского океана, глубина 1320 м)

Александр Николаевич Миронов, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР. Занимается проблемами биогеографии и истории формирования современной морской фауны.

Анатолий Михайлович Сагалевич, доктор технических наук, заведующий лабораторией научной эксплуатации глубоководных обитаемых аппаратов того же института. Специалист в области проектирования, строительства и научной эксплуатации подводных аппаратов.

О ФАУНЕ подводных океанических гор до недавнего времени было известно меньше, чем о животном мире самых труднодоступных океанических глубин. Планомерные исследования в этом направлении начались немногим более десяти лет назад. Но несмотря на это, уже сделаны и научно сенсационные, и важные в хозяйственном отношении открытия. Так, над вершинами некоторых подводных гор обнаружены промысловые скопления рыб, которые по всему Мировому океану оцениваются в 4—5 млн. т[1].

Поистине сенсационным было открытие 1977 г. Американские океанологи обнаружили в районе Галапагосского рифта сообщества донных животных вблизи горячих серных источников. Сейчас похожая богатая и удивительно своеобразная фауна найдена и во многих других районах Мирового океана. Эти сообщества отличаются от населения смежных районов значительно более крупными размерами животных, высокой продуктив-

[1] Моисеев П. А., Виноградов М. Е., Зайка В. Е. // Гидробиол. журн. 1982. Т. 18. № 2. С. 5—10.

ностью, обилием бактерий, способных усваивать углекислоту в присутствии восстановленной серы и кислорода. Даже бактерии достигают здесь невиданных размеров (например, представители рода Bergiotoa — до 0,11 мм) и образуют плотные скопления в виде кремово-белых матов в десятки метров длиной. Фауна гидротермальных участков характеризуется высокой степенью эндемизма; многие животные принадлежат новым таксонам, описан целый ряд новых семейств, известных только вблизи горячих источников.

Наиболее интересная особенность некоторых донных животных в гидротермальных сообществах — их симбиоз с хемосинтезирующими бактериями. Симбиотическое существование наложило свой отпечаток на морфологию животных. Например, у вестиментифер Riftia pachyptila — крупных беспозвоночных животных, длина тела которых достигает полутора метров, нет ни рта, ни кишечника, но имеется специальный орган — трофосома, в котором обитают симбиотические сульфидокисляющие бактерии. Они-то и служат источником органического вещества в питании вестиментифер. Сами же бактерии используют для жизнедеятельности энергию окисления сульфида, который поступает в трофосому вместе с кровью животного. Для такого транспорта в его крови существует специальный, связывающий сульфид белок.

Сообщества, похожие на те, которые найдены вблизи гидротермальных излияний, обнаружены также в зонах выходов нефти, газа, там, где просачиваются холодные рассолы. Как и в гидротермальных сообществах, основным источником энергии и питания для животных служат нефотосинтезирующие организмы. Таким образом, в океанических глубинах существуют многочисленные оазисы жизни, не зависящей от солнечной энергии, а потребляющей энергию хемосинтетических реакций.

Гидротермы существуют с древних времен. Сульфидные отложения гидротерм и сопутствующие остатки животных обнаружены в отложениях, возрастом в десятки и сотни миллионов лет. По мнению ряда специалистов, энергия на основе хемосинтеза сыграла исключительно важную роль в развитии жизни в океане.

Рассказывая о донном населении океанских просторов, будь то хребты или равнины, нельзя не упомянуть, что многие имеющиеся ныне сведения получены благодаря подводным обитаемым аппаратам. Теперь исследователи могут не только непосредственно наблюдать за жизнью на дне океана, но и вести прицельное фотографирование, телевизионную съемку, записывать животных на видеомагнитной пленке, целенаправленно отбирать образцы.

Наши собственные исследования показали, что внешний облик донной фауны на подводных горах обычно определяют крупные животные, прочно прикрепленные к твердому грунту и добывающие пищу — взвешенные частицы органического вещества и мелких планктонных животных — в толще воды. Так, на горе Эррор и в районе рифта Таджура (северо-западная часть Индийского океана) в донных сообществах преобладают горгоновые кораллы довольно разнообразной формы. Кроме обычных, похожих на веер, прутья и перья горгонарий, есть редкие формы в виде изящных зонтиков или деревцев на длинных тонких стеблях с ажурной раскидистой кроной. В этих горных районах кораллы образуют настоящие заросли, через которые подводному аппарату приходилось буквально продираться.

Горгоновые кораллы, как и многие другие донные животные, обитающие вплоть до самых подножий гор, имеют разнообразную окраску. Обычно преобладают пастельные тона розового, оранжевого, желтого, голубого цвета, встречаются зеленые кораллы с металлическим блеском. Почему столь красочны животные, чья жизнь проходит в полной темноте,— точно не известно. Может быть, это еще не полностью утерянное наследство ближайших предков, обитавших на материковой отмели?

На скалистых участках дна в районе хребта Рейкьянес (южнее Исландии) доминировали крупные губки тоже весьма разнообразной формы: они напоминали кубки, кувшины или конусообразные сосуды, были губки в виде шаров, кактусов, кустов, светильников на тонких, свитых из спикульных жгутов ножках.

И кораллы, и губки — это животные сестонофаги, питающиеся взвешенными в воде частицами детрита. Значительно реже на подводных горах встречаются сообщества, в которых преобладают плотоядные и всеядные животные. Сообщество плотоядных актиний мы наблюдали в районе рифта Таджура. Интересно, что на этом рифте есть малой мощности горячие источники, но на состав местной фауны они не оказывали заметного влияния.

На горе Безрукова, в юго-восточной части Индийского океана, основную массу донного населения составляли оранжево-красные всеядные морские ежи. Это редкий случай для подводных гор океана.

Доминирование сестонофагов в донных сообществах подводных гор легко объяснимо: пищу — детрит — поставляет им вода, а не грунт. На подводных горах, в отличие от большинства других районов океана, органическое вещество не накапливается из-за крутизны рельефа, сильных течений и постоянных перемещений песчаного грунта; органика не сносится с суши; на горах нет водных растений, если их вершины находятся ниже фотосинтетического слоя.

Будучи зависимыми энергетически от окружающей водной толщи, донные сообщества подводных гор наибольшего расцвета достигают лишь на участках дна с сильными придонными течениями. Плотными бывают поселения животных только на хорошо омываемых, выступающих скалистых обнажениях. Чтобы лов был более успешным, многие подвижные животные сидят не на грунте, а на живом возвышении — крупных губках, горгонариях. На теле большинства из них видны морские лилии и офиуры, с расправленными по течению лучами.

В кроне губок и горгонарий, кроме морских лилий и офиур, постоянно обитают крабы, креветки, равноногие и усоногие раки, многощетинковые черви, брюхоногие и бороздчатобрюхие моллюски, морские звезды и другие беспозвоночные. Форма тела многих этих животных весьма своеобразна, это результат приспособления к обитанию на губках и горгонариях.

Таким образом, на подводных горах условия наиболее благоприятны для развития сообществ сестонофагов. Тем не менее известны горы, на вершинах которых преобладают или плотоядные, или всеядные животные, или грунтоеды.

Как же на подводных горах могут существовать сообщества животных, не способных добывать пищу из толщи воды и, тем не менее, достигающих биомассы, значительно более высокой, чем биомасса всех других животных на грунте в соседних с горами участках дна? Объяснение оказалось довольно неожиданным, причем для разной формы гор отличным. Морские ежи и лангусты, обитатели подводных гор с усеченной плоской вершиной на глубинах 200—400 м, питаются мелкими планктонными ракообразными, а также более крупными креветками и рыбами. Вблизи грунта на плоских вершинах гор раз в сутки резко повышается концентрация планктона за счет того, что в ходе суточных миграций планктонные животные, образующие так называемый звукорассеивающий слой, натолкнувшись на грунт, становятся легкой добычей плотоядных и всеядных животных.

Иную пищу получают морские ежи, живущие на горах в промысловых районах океана. Например, в кишечниках морских ежей с вершины горы Эррор (северо-западная часть Индийского океана), составляющих основную массу бентоса, мы нашли кости, чешую, мягкие ткани и фекалии рыб. Здесь же, над вершиной горы, обнаружены скопления придонных и обитающих в средних глубинах рыб. Тогда и стало ясно, что сообщество морских ежей существует за счет осевших остатков рыб и их фекалий. Внимательный анализ привел нас не только к выявлению этой простой трофической цепи, но и позволил сделать важное заключение: там, где в донных сообществах преобладают крупные морские ежи, питающиеся остатками и фекалиями рыб, должны быть их промысловые скопления.

Сейчас о фауне подводных гор центральных районов Мирового океана уже накоплены сведения, и дискутируется вопрос об истории ее формирования. Известно, что в одних районах фауна характеризуется высокой степенью эндемизма, в других низкой (эндемичными для любого района считаются животные тех таксонов, которые не встречаются за его пределами). Существует мнение, что высокая степень эндемизма всегда свидетельствует о географической изоляции и самостоятельном видообразовании в течение многих миллионов лет. Так, У. Ньюмен и Б. Фостер считают, что морской фауне тихоокеанских островов Пасхи и Сала-и-Гомес несколько десятков миллионов лет, хотя сами острова сформировались сравнительно недавно — 1—2,5 млн лет назад. Древнюю фауну, по мнению этих исследователей, тихоокеанские острова унаследовали от островов, существовавших здесь в прошлом, а к настоящему времени ставших подводными горами.

Однако у нас сложилось иное представление об истории формирования фауны открытых океанических пространств. Это представление возникло как результат изучения и анализа богатой коллекции океанических донных животных, собранной

Крупная древовидная форма губок с одиночной горы ИОАН с плоской вершиной (западная часть Тихого океана, глубина 1780 м).

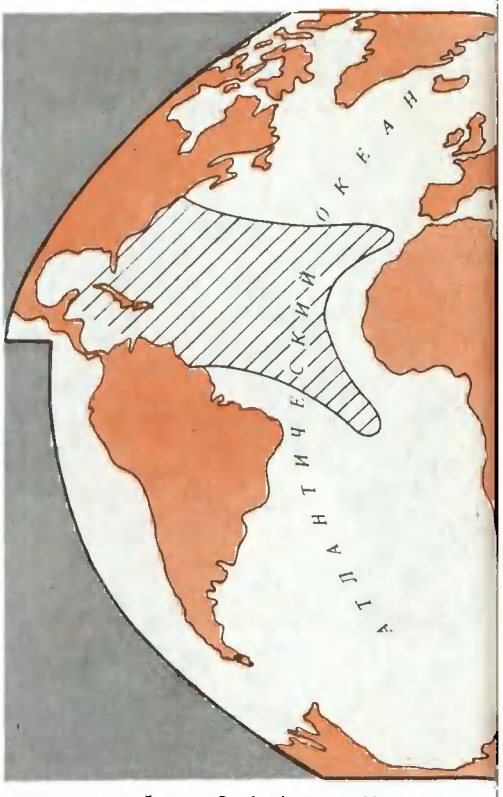
Сообщество пластинчатых актиний на рифте Таджура (глубина 1300 м).

Сообщество всеядных морских ежей на горе Безрукова (юго-восточная часть Индийского океана).

Морские лилии на стеклянной губке (одиночная гора ИОАН, глубина 1800 м).

во время экспедиций нашего института. Мы считаем, что океанические поднятия являются районами постоянного заселения фауной различных приконтинентальных участков океана, в то же время океанические горы — это и зоны, в которых взаимодействует фауна разных зоогеографических регионов. За счет расселения фауны приконтинентальных шельфов и склонов по горным районам проявляются черты меридиональной асимметрии ареалов, а взаимодействие приконтинентальных фаун приводит к появлению пограничного эффекта.

Меридиональная асимметрия раньше прослеживалась в распределении числа таксонов в районах континентального шельфа. Широко известно, например, что в западных районах Тихого и Атлантического океанов тепловодная фауна значительно разнообразнее, чем в восточных. Такую асимметрию обычно связывают со сложностью рельефа и наличием громадных мелководных пространств в западной части океанов (в сложных системах морей Индо-Малайского архипелага и Карибского бассейна) и их отсутствием на востоке. Но если внимательно посмотреть на распределение животных определенных таксонов в открытых районах океана, меридиональная асимметрия станет очевидной и здесь: чем разнообразнее приконтинентальная фауна, тем дальше простирается область ее расселения в океанических участках. Роды и виды, известные из западных приконтинентальных районов



Ареалы морских ежей рода Coelopleurus **в Мировом океане (заштрихованы). Хорошо видна их меридиональная асимметрия не только в приконтинентальных районах, но и в открытых океанических пространствах.**

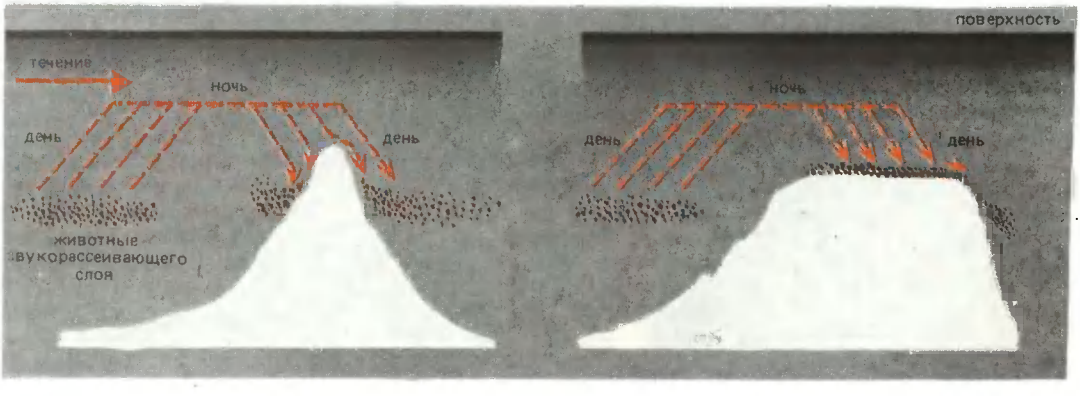
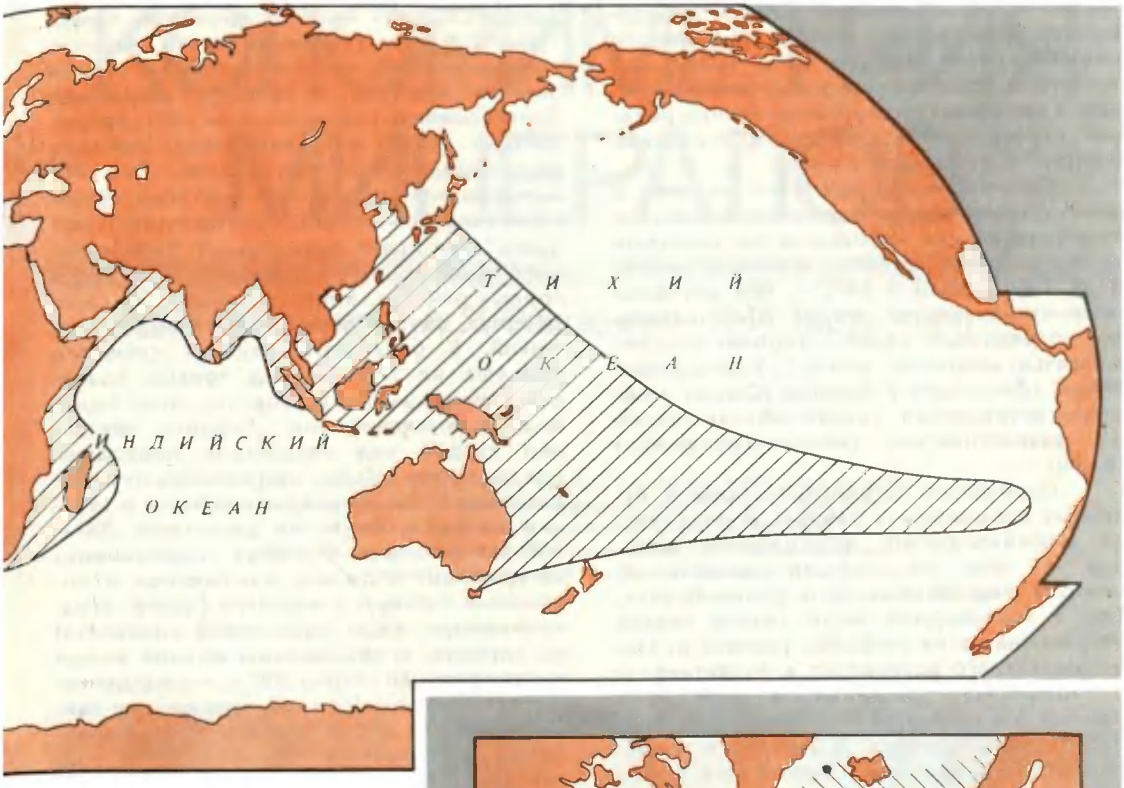
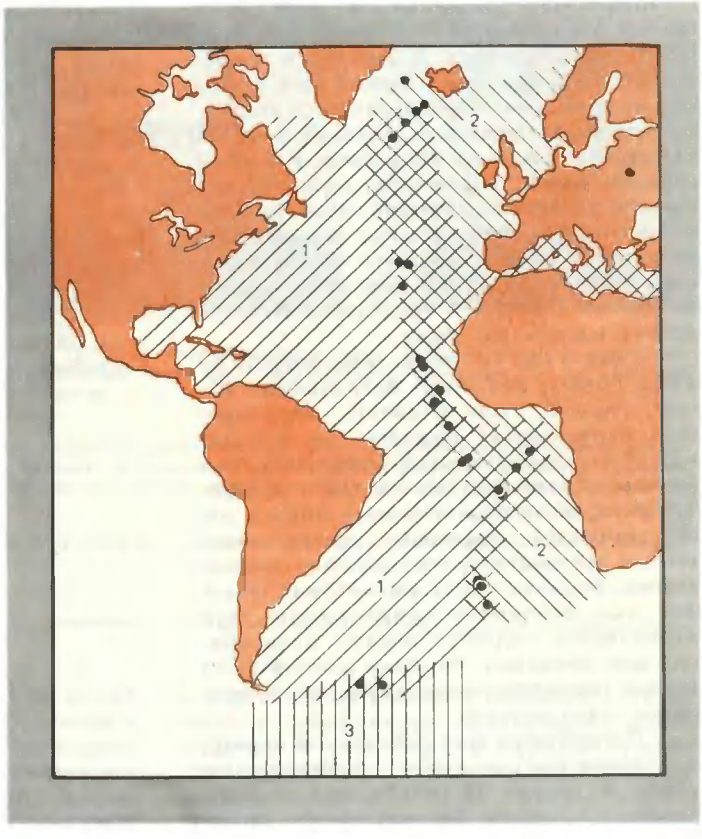


Схема суточных вертикальных миграций животных звукорассеивающего слоя. Видно, что при опускании этих животных на острую вершину горы (слева), они «соскальзывают» вдоль склонов, а на плоской вершине скапливаются. За счет скоплений животных звукорассеивающего слоя и существуют сообщества плотоядных и всеядных беспозвоночных.





Область распространения в Атлантическом океане западной (1), восточной (2) и южной (3) приконтинентальных фаун морских ежей. Черными кружками обозначены места, в которых обнаружены эндемичные виды. Видно, что все эти районы приходятся на пограничную зону — зону смешения видов, из противостоящих зоогеографических районов.

Тихого и Атлантического океанов, распространены на восток далеко за пределы средней линии океана, в то время как животные этих же таксонов, но обитающие в восточных приконтинентальных районах, ограничены в своем распространении восточной половиной океана.

Пограничный эффект — наличие в зоне смешения фаун смежных районов видов, имеющих небольшие по площади, т. е. точечные ареалы, впервые описан В. Н. Семеновым в 1977 г. при изучении приконтинентальной фауны. Действительно, пограничный эффект хорошо прослеживается: например, около 1/5 шельфовых видов, обитающих у берегов Южной Америки, встречаются только вблизи одной из фаунистических (зоогеографических) границ.

Положение пограничной зоны в открытых океанических районах определяется меридиональной асимметрией ареалов — она максимально удалена от центров таксономического разнообразия. Так, в тепловодной части Тихого океана пограничная зона наиболее удалена от Индо-Малайского архипелага, в Атлантике — от Карибского бассейна. В этой зоне одновременно встречаются животные, принадлежащие таксонам и западного и восточного происхождения. Кроме того, фауна пограничной зоны резко отличается от таковой других океанических районов высокой степенью эндемизма. Например, все виды морских ежей, эндемиков океанических районов Атлантики, обитают только в узкой пограничной зоне. Эндемизм фауны океанических районов оказался в большей мере зависимым от пограничного эффекта, чем от степени и продолжительности географической изоляции.

Пока у нас нет убедительного объяснения, почему возникает пограничный эффект. Можно лишь отметить, что эндемики океанических поднятий — это как виды, близкородственные животным, обитающим вблизи континента, так и морфологически четко обособленные роды и даже семейства, имеющие примитивные черты и являющиеся, по-видимому, реликтовыми. Наличие таких реликтовых форм дает нам основание предположить, что океанические поднятия играют роль убежищ для животных, которые раньше были широко распространены здесь, но со временем стали исчезать.

Потребуется еще длительный период накопления фактов, чтобы с уверенностью судить о процессах, приведших к формированию горных фаунистических комплексов сложной зоогеографической структуры. Что касается промыслового значения подводных гор, то оно приобрело особо важное значение в связи с введением двухсотмильных экономических зон, закрывающих доступ к традиционным районам промысла вблизи континентов. Уже обнаруженные крупные стаи рыб над вершинами некоторых подводных гор существуют здесь благодаря повышенной биологической продуктивности поверхностных вод в горных районах, а продуктивность, в свою очередь, обусловлена сложной гидродинамикой. В результате влияния сложного рельефа на течения над горами возникают локальные круговороты, зоны подъема и опускания вод. Диаметр локальных вихрей над вершинами подводных гор достигает 150 км; оторвавшись от горы, вихревые возмущения сохраняются в течение месяца и более на расстоянии 200—500 км от горы. Сложная гидродинамика приводит к резким изменениям в положении изотерм и изогалин (линий, ограничивающих воды одинаковой солености) по глубине, к обогащению водной толщи кислородом до глубин 500 м, к насыщению фотосинтетического слоя биогенными элементами. Все это и обусловливает биологическую продуктивность подводных гор, гораздо более высокую, чем продуктивность других районов океана. Так, в районах Гавайского и Северо-Западного хребтов биомасса планктона нередко достигает 1200 мг/м^3, т. е. в 100 раз превышает среднюю биомассу в смежных акваториях Тихого океана. Столь богатая жизнью область подводных гор, безусловно, не должна остаться незамеченной исследователями, более подробное изучение фауны этих обширных океанических пространств потребует новых экспедиций.

КОЛОРИМЕТРИЯ МИНЕРАЛОВ

М. Н. Остроумов, А. Я. Вохменцев, Л. И. Третьякова

Цвет является в сущности самым удобным, наиболее резким и наиболее легко воспринимаемым признаком в природе... Качественные характеристики цвета минералов употреблялись долгое время из-за невозможности получения каких-либо точных цифровых данных.

А. Е. Ферсман

Михаил Николаевич Остроумов, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник кафедры петрографии Ленинградского горного института им. Г. В. Плеханова. Специалист по минералогии и методам исследования минерального вещества.

Анатолий Яковлевич Вохменцев, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник той же кафедры. Основные научные интересы связаны со спектрометрией и колориметрией минералов и горных пород с целью их дистанционного картирования, поисков и оценки месторождений полезных ископаемых.

Людмила Иосифовна Третьякова, младший научный сотрудник той же кафедры. Занимается спектроскопией минералов и горных пород.

КАК НИ СТРАННО, в настоящее время широкий круг научных работников и геологов-практиков почти не знаком с существующими методами измерения окрасок минералов и горных пород. В многочисленных минералогических трактатах и справочниках далекого и близкого прошлого, в современных практических руководствах и учебниках, в научных статьях по минералогии и геологии господствуют известные еще с XVIII в. приемы сравнительной характеристики окрасок минера-

лов, предложенные немецким ученым А. Г. Вернером[1]. Они основаны на визуальном сравнении исследуемых минералов, горных пород и руд с теми природными объектами, которые по своим окраскам наиболее близки к ним (в качестве цветовых эталонов используются либо достаточно известные минералы, либо другие природные или искусственные объекты, обладающие относительно устойчивой окраской). Например, в минералогии еще недавно часто прибегали к сравнению цвета описываемого образца с различными сортами красок. Однако результат такого сопоставления, как отмечал в 1961 г. В. В. Шаронов в своей книге «Свет и цвет», в значительной мере субъективен и весьма неопределенен. В самом деле, какой цвет следует понимать под названием «индигово-синий» или «кошенильно-красный» — ведь эти старинные краски в наше время практически не применяются? А кого не озадачит предложение точно определить и различить между собой такие оттенки зеленого цвета, как яблочный, травяной, табачный, оливковый, фисташковый, бутылочный и т. д.? Всем известно, что упомянутые в названиях представители растительного мира и другие предметы бывают самых разных оттенков, и потому, каким образом оценить цветовые различия, используя качественные (визуально-словесные) характеристики, может решить далеко не каждый.

Создалась парадоксальная ситуация: специалисты-минералоги, вооруженные сейчас самой современной техникой для исследования природы окрасок минералов, при характеристике цвета своих объектов пользуются приемами и терминологией двухвековой давности. И хотя в наше время в учебниках не найдешь некоторых определений цвета, передававшихся студентами из поколения в поколение и поражавших в свое время их слух и воображение («серо-сизо-побежалый», «цвета пера крыла птицы самца голубя», «чижево-зеленый», «томпаково-бурый»), нельзя сказать, что современные минералоги далеко ушли от этих определений цвета.

Минералы, как никакие другие объекты естественного или искусственного происхождения (может быть, за исключением цветов растений), отличаются исключительно широким набором всевозможных окрасок и оттенков. Так, для амазонита из одной лишь пегматитовой жилы на Кольском п-ове мы насчитали несколько десятков цветовых разновидностей, каждая из которых имеет свои особенности состава, структуры и происхождения. На этом и многих других примерах нетрудно убедиться в том, что вернеровская система названий цветов минералов не в состоянии охватить их реальное разнообразие, страдает безнадежным субъективизмом.

Было бы ошибкой утверждать, что геологи и минералоги не предпринимали других попыток совершенствования цветовых характеристик своих объектов. Уже в первой половине нашего столетия очень популярными были всевозможные атласы цветов, в которых последние систематизировались и обозначались определенными буквами и цифрами. Однако громоздкость и несовершенство этих атласов, субъективность восприятия сравниваемых образцов и эталонов, изменение окраски эталона со временем и ряд других существенных причин не способствовали широкому применению таких разработок в геолого-минералогической практике.

Эти способы оценки окраски минералов (визуально-словесное сравнение и атласы) в какой-то мере уже позволяли получать, хранить и передавать информацию о цвете как о качественном признаке. В то же время использование основанных на этих способах диагностических систем, прогрессивных для своего времени, сейчас уже не соответствует современному состоянию и потребностям науки и практики. Пытаясь найти выход из создавшегося положения, минералоги естественным образом пришли к созданию своеобразных обучающих систем — специальных эталонных коллекций реальных образцов минералов с типичными окрасками, с помощью которых осуществляется простое запоминание цвета каждым обучающимся.

Известно, что опытный глаз при непосредственном сравнении в состоянии заметить весьма тонкие цветовые нюансы и различить среди множества цветов десятки тысяч оттенков. Вместе с тем цвета объектов во всем их разнообразии достаточно трудно или вообще невозможно трансформировать в адекватную языковую форму. Последнее обстоятельство связано не только с несовершенством языка цветовых обозначений вообще, но и с некоторыми индивидуальными физиологическими и психическими особенностями людей (разное восприятие совершенно идентичных цветов, аномалии в цветовом зрении, конкретное психическое состояние и др.). Лег-

[1] Шафрановский И. И. А. Г. Вернер — знаменитый минералог и геолог. М., 1968.

ко представить, к каким искажениям и даже потерям может привести хранение и обмен цветовой информацией, полученной в результате индивидуального зрительного восприятия, запоминания и представленной в несовершенной словесной форме. Все эти несовершенства человеческого зрения и языка и по сей день являются главными причинами многочисленных трудностей и значительных разногласий при оценке цвета любых объектов и предметов.

Все сказанное достаточно подтверждает известную поговорку — «на вкус и цвет товарищей нет». Вместе с тем всегда существовала, существует и будет возрастать потребность людей находить общий язык в оценке цветов всевозможных объектов, в том числе минералов. Признавая анахронизм, недостаточность и неточность словесно-визуальной цветовой оценки, исследователи были просто вынуждены заняться вопросами метрологии цвета.

КАК ИЗМЕРИТЬ ЦВЕТ МИНЕРАЛОВ

Под цветом предмета вообще подразумевается визуальная оценка окраски, количественно характеризуемая спектральной кривой отражения (пропускания). В настоящее время изучение природы окраски камня приобретает хорошую физическую основу — детальные спектрометрические измерения и квантовую теорию с ее разделами: теорией кристаллического поля, молекулярных орбиталей, зонного строения.

В науке об измерении цвета — колориметрии — уже более полувека применяется система трехцветных координат (X, Y, Z), построенная с учетом того, что все существующие цвета представляют собой смесь трех взаимонезависимых цветов (обычно красного, зеленого и синего), взятых в определенных количествах. Любой цвет в этой системе выражается тремя коэффициентами цветности (x, y, z), из которых только два первых являются независимыми ($x+y+z=1$). Коэффициенты получаются простым расчетным способом с использованием табличных и экспериментальных данных. Изложение методов расчета не входит в нашу задачу. С ними можно познакомиться во многих работах по колориметрии[2].

[2] Юстова Е. Н. Таблицы основных колориметрических величин. Л., 1967; Джадд Д., Вышецкий Г. Цвет в науке и технике. М., 1978.

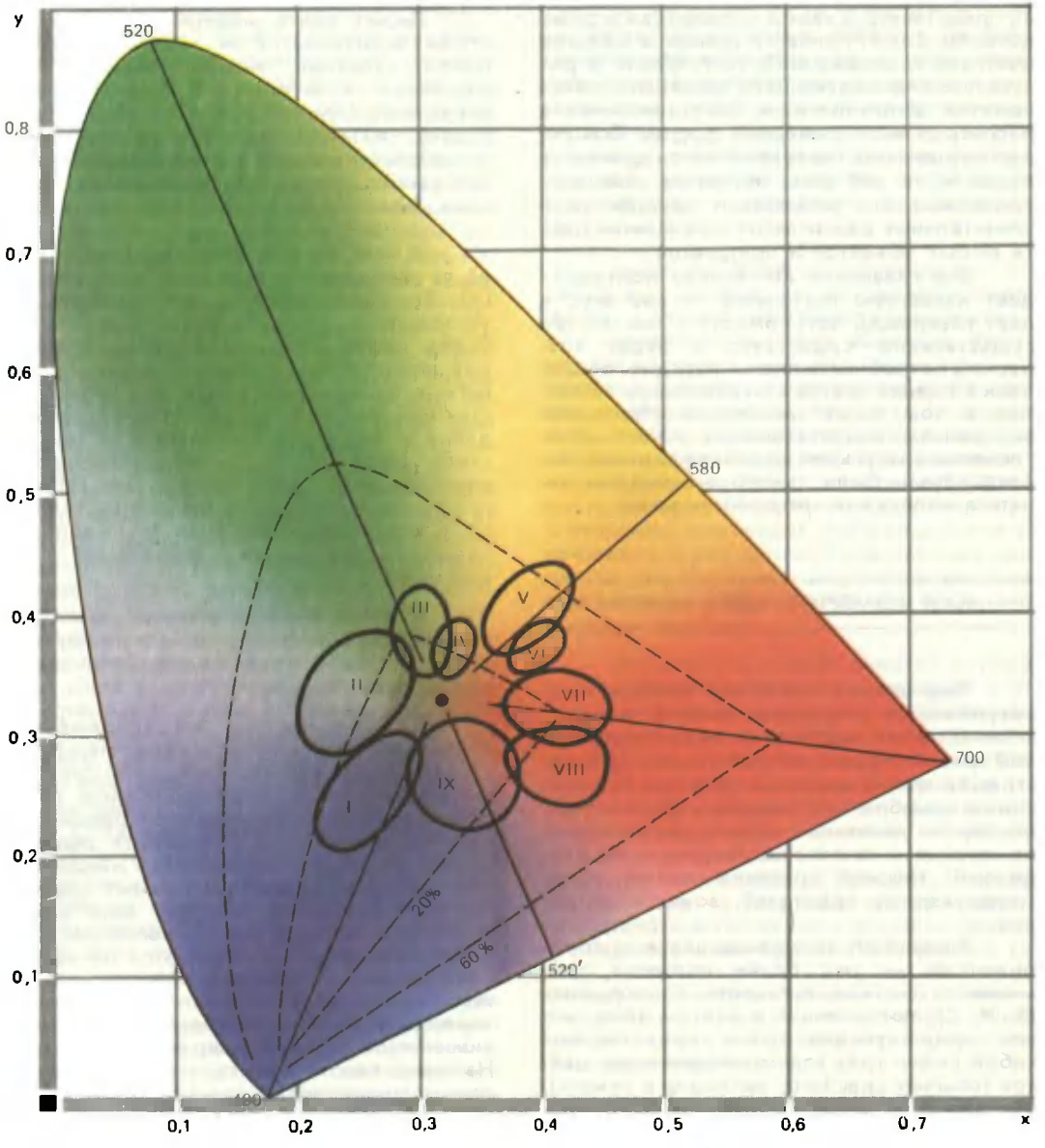
Расчет цвета минералов в этой системе основывается на использовании, с одной стороны, экспериментально измеряемых спектральных коэффициентов отражения (пропускания) в видимом диапазоне (400—750 нм), а с другой — на учете спектральной чувствительности глаза при каком-либо из стандартных источников освещения.

Кроме коэффициентов цветности (x, y) рассчитывается светлота, или яркость (Y). Эта характеристика соответствует интегральному коэффициенту отражения в белом цвете. Затем на цветовом графике для любой точки с конкретными координатами определяются еще две характеристики — цветовой тон, или преобладающая длина волны (λ), и насыщенность, или чистота цвета (P) — степень разбавления спектрального цвета белым. Два последних колориметрических параметра являются более выразительными и предпочтительными для увязки с визуальной оценкой цвета.

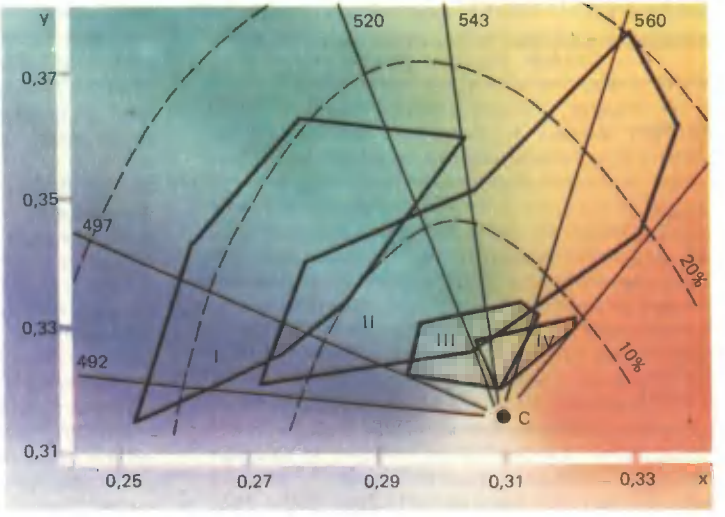
В итоге количественные характеристики цвета минералов можно измерять и представлять в виде колориметрических параметров (x, y, λ, P, Y).

В колориметрии на современном этапе широко применяются три инструментальных метода измерения цвета: спектрофотометрический, компарирование и непосредственное измерение. В большинстве случаев предпочтение отдается первому из них, поскольку он отличается максимальной объективностью проводимых измерений и к тому же обладает еще одним очень важным для минералогов достоинством — расчет цвета ведется по кривой спектрального отражения (пропускания), которая является весьма информативной характеристикой при исследовании физико-химической природы окраски минералов. Наконец, надо отметить, что реальные образцы минералов и горных пород, в отличие от обычных — плоских — объектов колориметрии (тканей, бумаг и др.), являются объемными телами со сложной поверхностью, а это требует обязательного предваряющего расчеты цвета проведения спектрофотометрических измерений.

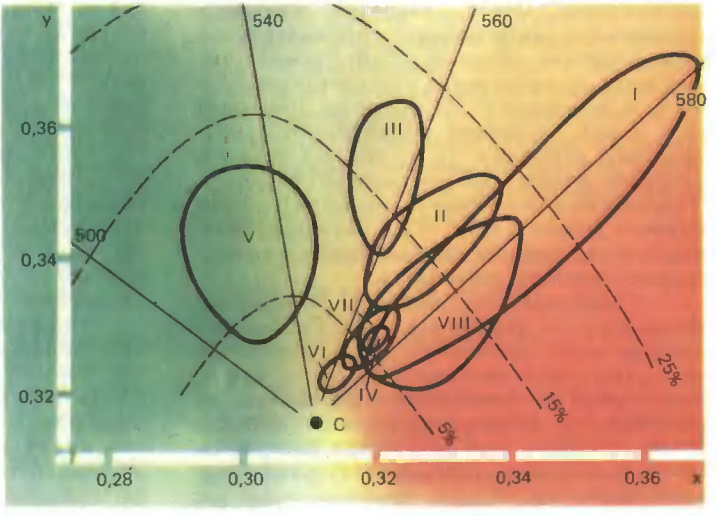
Занимаясь на протяжении ряда лет измерением цвета природных минеральных объектов, мы получили большое количество данных, представляющих интерес как для специалистов, так и для любителей камня. Отметим, что в настоящее время колориметрические исследования минералов выполняются также и в других научных центрах нашей страны.



Цветовой график в Международной колориметрической системе X, Y, Z, на котором нанесены поля цветности лазурита (I), бирюзы (II), изумруда (III), хризолита (IV), янтаря (V), клиногуммита (VI), граната (VII), рубина (VIII), чароита (IX). По осям x, y отложены коэффициенты цветности, пунктирные линии — насыщенность (чистота) цвета в %. Полученные поля локализуются вблизи точки C, отвечающей цветности одного из стандартных источников освещения (дневного рассеянного белого света). Концентрически расположенные вокруг этой точки изолинии насыщенности показывают изменение этого параметра цвета у исследованных минералов. Самоцветы почти полностью закрывают всю центральную часть графика, не оставляя пропусков цветовых тонов. Значения цветовых тонов нанесены на внешней границе графика — линии спектральных цветностей (в диапазоне 400—700 нм) и линии пурпурных цветностей.



Фрагмент цветового графика с полями цветности амазонитов из различных типов пород: пегматитов Кольского п-ва (I) и Урала (II); гранитов Забайкалья (III) и Казахстана (IV).



Поля цветности земных горных пород: розовых гранитов (II), базальтов (III), кимберлитов (IIII), анортозитов (IV), амазонитовых зеленых гранитов (V); метеоритов: ахондритов (VI), хондритов (VII), а также астероидов (VIII).

ЦВЕТОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ САМОЦВЕТОВ

Попытаемся на примере нескольких самоцветов (их насчитывается около семи десятков) показать значение измерения их цвета.

Один из важных параметров — насыщенность. Чем она выше, тем чище цвет. Нетрудно понять важность этого параметра для самоцветов, поскольку он в значительной мере определяет их стоимость.

В наших измерениях насыщенность менялась примерно от 5 % (чароит, лазурит) до 60 % (янтарь). Неодинакова насыщенность цвета и у каждого отдельного самоцвета (табл. 1). Так, у лазурита она изменяется от 5 до 20 %, а у изумруда — от 5 до 90 %. Основные причины изменчивости насыщенности — концентрация и виды центров окраски, характер поверхности, форма и размеры камня, а также оптическая неоднородность. Насыщенность цвета камня обычно выше при полированной поверхности и однородном (бездефектном) внутреннем строении, а с другими факторами насыщенность связана сложной, неоднозначной зависимостью.

Таблица 1
Колориметрические параметры самоцветов

Минерал	Цвет	Цветовой тон λ, нм	Насыщенность P, %	Светлота Y, %
Лазурит	синий	460—487	5—20	17—50
Бирюза	голубой	485—510	10—35	34—52
Изумруд	зеленый	510—560	5—40	26—65
Хризолит	желтовато-зеленый	540—576	6—30	26—51
Янтарь	желтый	570—585	30—62	30—65
Клиногуммит	оранжевый	580—590	30—50	15—48
Гранат	красный, пурпурный	595—496′	15—45	18—30
Рубин	красный, пурпурный	492′—510′	15—40	20—35
Чароит	фиолетовый, пурпурный	454—500′	5—25	17—31

Следующим важным количественным параметром цвета является светлота, связанная с интегральной отражательной способностью объекта. Этот показатель меняется от нескольких процентов до 90—95 % в зависимости от природы минерала (его вида), характера поверхности и внутреннего строения, т. е. тех же причин, которые влияют на насыщенность цвета. В частности, увеличение количества центров окраски (ионов Cr, Fe, V) в изумруде приводит к повышению насыщенности и уменьшению светлоты самоцвета.

Обратимся к третьему цветовому параметру — цветовому тону. Рассматриваемые нами самоцветы почти полностью закрывают всю центральную часть цветового графика, показанного на одном из рисунков, не оставляя пропусков цветовых тонов. Все семь цветов спектра (вспомним школьное правило: «Каждый Охотник Желает Знать Где Сидит Фазан») плюс отсутствующий в спектре (но не в природе) пурпурный — итого восемь тонов и всего лишь девять самоцветов[3]. Таков в первом приближении цветовой охват, палитра взятых нами камней. Попробуем уточнить, однако, начатую арифметику цветов.

Выполненное колориметрическое исследование ряда ювелирно-поделочных камней (лазурита, бирюзы, амазонита, нефрита и др.) показывает такое разнообразие их цветовых тонов, о котором минералоги не знали и не могли знать, не владея мерой цвета. Читатель может усомниться, существует ли проблема счета и инвентаризации цветов камня — были бы камни, а установить и подсчитать их многоцветье может каждый человек с нормальным цветовым зрением. Поясним, в чем суть вопроса.

Во-первых, отметим, что в минералогии издревле существует проблема классификации ее объектов, и цвет (окраска) является одним из важных классификационных признаков. К сожалению, порою минералоги, любуясь цветами своих объектов, не уделяют им должного внимания.

Во-вторых, представим, в сколь сложном положении может оказаться минералог, занимающийся классификацией минералов по цвету и не имеющий возможности оперативно и точно оценивать этот признак, — следуя традиционным путем создания эталонных коллекций, он неминуемо быстро «затоварится» и встанет перед проблемой катастрофической нехватки мест для эталонных образцов. И только накопление и хранение чисел (координат цвета), т. е. создание банка цветов камней, независимо от их стоимости,— вполне возможное дело.

Некоторые самоцветы отличаются столь разнообразными по тону окрасками, что занимают немалую часть цветового графика. Так, один из них — лазурит, как оказалось, вопреки своему названию бывает не только лазорево-синим. Сначала визуально, а затем инструментально были установлены также лазуриты пурпурные, голубые, зеленые, желтые и др. На языке длин волн этот ряд цветовых тонов, включая собственно лазоревый, изменяется от 565 нм (вспомогательной шкалы) пурпурного цвета до 575—580 нм видимого диапазо-

[3] Пурпурные цвета представляют собой результат смешения красных и фиолетовых тонов. В связи с отсутствием в спектре, они не характеризуются обычным цветовым тоном, а обозначаются длинами волн соответствующих им дополнительных цветов (дающих в совокупности с ними белый цвет) со значком «штрих».

на спектра, т. е. желтого цвета. Таким образом, можно убедиться, что по значениям одного из основных цветовых параметров — цветового тона — лазурит «перекрывает» бирюзу, амазонит, изумруд, жадеит, нефрит, хризолит, а также часть желтых и пурпурных самоцветов.

Казалось бы, это обстоятельство оправдывает скепсис некоторых исследователей в отношении цветовой диагностики минералов. В самом деле, даже точно измеренный цвет сам по себе, без привлечения других признаков, в ряде случаев не позволяет отличить амазонит от нефрита, изумруда, бирюзы. Это, однако, не мешает минералогам говорить о диагностическом значении цвета камня: просто надо помнить о своеобразной диагностической «табели о рангах» — видах и разновидностях минералов-самоцветов и последовательности их узнавания. Диагностика минерального вида, допустим берилла, может быть выполнена по спектру отражения в достаточно широком диапазоне длин волн и при некоторых определенных условиях измерения, цветовая же разновидность, например изумруда, определяется после установления видовой принадлежности на основе спектра отражения (пропускания) лишь в видимой области. Этот же диапазон длин волн представляет интерес для спектральной диагностики центров окраски со всеми присущими им особенностями нахождения в кристаллической структуре минералов (валентность, координация, симметрия, межатомные расстояния и т. д.).

На примере амазонита покажем еще ряд преимуществ, которые дает использование системы XYZ при цветовых оценках окрасок минералов. С этой целью были изучены амазониты из месторождений пегматитов и гранитных массивов ряда регионов, которые являются основными районами концентрации этого минерала в нашей стране[4]. Колориметрические характеристики этого минерала меняются в следующих пределах: цветовой тон — 491—570 нм; насыщенность — 5—25 %; светлота — 25—70 %. При этом можно отметить определенные отличия окрасок амазонитов из разных месторождений. Так, наибольшей чистотой цвета характеризуются амазониты из пегматитов Кольского п-ова (эти месторождения — основные его поставщики в нашей стране), а наименьшей — из гранитов Казахстана и Забайкалья. Обратными соотношениями отличаются те же образцы по светлоте. Некоторое промежуточное положение по этим параметрам занимают амазониты из пегматитов Урала.

Из анализа колориметрических параметров амазонитов следует, кроме того, что в более молодых и менее глубинных образованиях концентрируются амазониты с меньшей насыщенностью и большей светлотой, а также с несколько большим интервалом значений цветового тона. Иными словами, в молодых породах отмечается своеобразное ослабление (разбавление) окраски. Наряду с этим, по нашим данным, в ассоциациях с другими полезными минералами из разных месторождений находятся амазониты с определенными колориметрическими параметрами. Так, в самых древних пегматитах минералы тантала и ниобия встречаются чаще всего вместе с амазонитами зеленых окрасок (535—545 нм). Последнее обстоятельство подтверждает возможность использования колориметрических характеристик амазонита при оценке перспективности месторождений ряда редких элементов, связанных с содержащими амазонит породами. У большей части амазонитов значения цветового тона находятся в интервале от 511 до 545 нм. Интересно, что многие из них по колориметрическим параметрам весьма близки к некоторым другим самоцветам с зелеными окрасками.

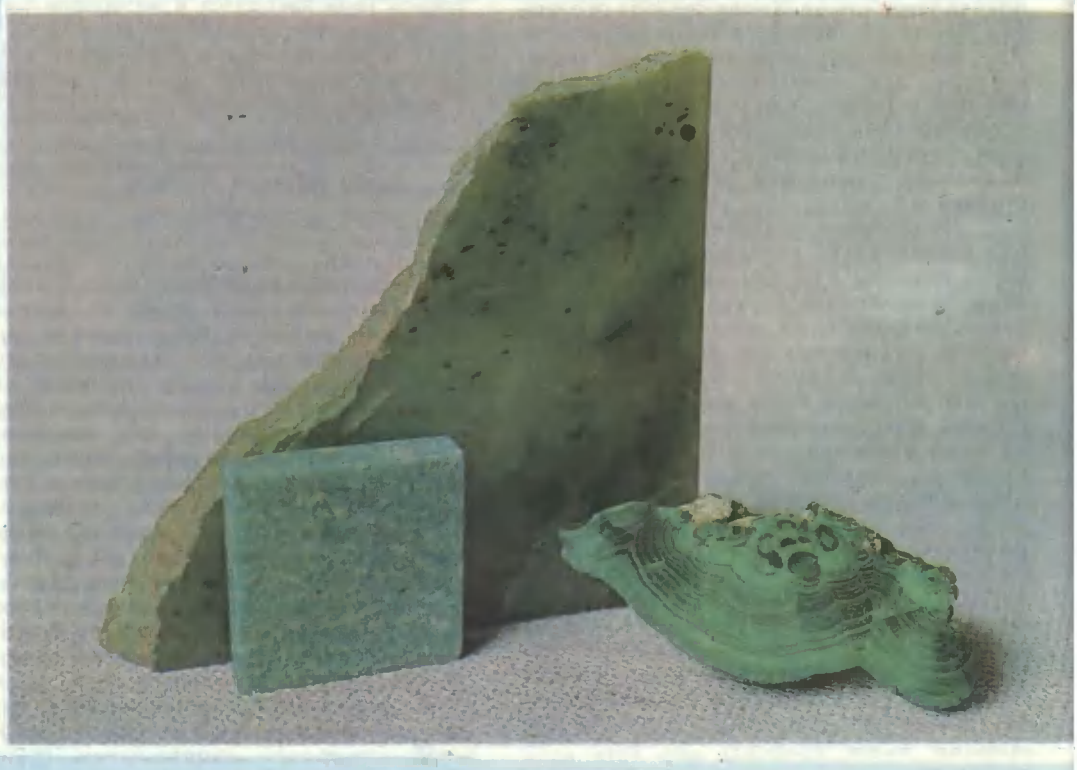
ЦВЕТ ГОРНЫХ ПОРОД

Освоение недр Земли и поверхностей других планет ставит перед исследователями ряд вопросов. В их числе и такие: чем представлены, как выглядят и могут ли быть сравнены разные горные породы земного или иного происхождения. Прежде, в «докосмическую» эру, астрономов вполне удовлетворяли обобщенные характеристики, скажем альбедо или цвет, усредненные по всей поверхности планеты либо относящиеся к наиболее крупным ее деталям (кратерам, «морям» и т. д.). К тому же они измерялись для отдельных длин волн (в начале, середине и в конце видимого диапазона) и потому являлись по существу полуколичественными. Сейчас, когда планеты все более, как говорил И. С. Шкловский, «проходят по департаменту геологии», на очереди иной — земной — масштаб измерений инопланетных грунтов. Столь же актуальны измерения их цвета приемами, уже апробированными на земных породах и в земных условиях, иными

[4] Остроумов М. Н., Марин Ю. Б., Вохменцев А. Я. Амазонский камень // Природа. 1982. № 3. С. 45—53.

Образцы самоцветов, для которых были определены колориметрические параметры: цветовой тон, или преобладающая длина волны (λ, нм); насыщенность, или чистота цвета (P, %); светлота, или яркость (Y, %).

Яшма: λ = 576 нм, P = 35 %, Y = 48 %.



Нефрит: λ = 542 нм, P = 16 %, Y = 29 % (на заднем плане); голубой амазонит: λ = 492 нм, P = 26 %, Y = 34 % (слева); малахит: λ = 520 нм, P = 26 %, Y = 28 %.

Синтетический рубин: λ=495′ нм, P=26 %, Y=42 %; природный рубин: λ=505′ нм, P=30 %, Y=35 % (слева).

Сера: λ=577 нм, P=45 %, Y=50 % (слева); кальцит: λ=580 нм, P=40 %, Y=38 %.

Янтарь: λ от 576 до 579 нм, P от 55 до 60 %, Y от 20 до 34 %.

Прибайкальский лазурит: λ=476 нм, P=20 %, Y=18 % (слева); памирский лазурит: λ=482 нм. P=18 %, Y=26 %.

Аурипигмент: λ=575 нм, P=35 %, Y=42 %

Родонит: λ=492′ нм, P=12 %, Y=36 % (слева); чароит: λ=560′ нм, P=20 %, Y=32 %.

словами, с использованием предлагаемой системы.

На первом этапе целесообразно ограничить такие исследования наиболее распространенными или наиболее вероятными (для других планет) породами: магматическими — самыми распространенными в земной коре интрузивными (гранитами) и эффузивными (базальтами) породами, а также анортозитами и кимберлитами. Кроме того, для сопоставления привлекаются некоторые осадочные и метаморфические горные породы (известняки, мраморы, кварциты) и наиболее распространенные каменные метеориты. Выявляются следующие закономерности изменения цвета горных пород.

Насыщенность имеет минимальные значения у каменных метеоритов — хондритов и ахондритов, причем последние отличаются самой низкой насыщенностью (менее 5 %). Максимальной насыщенностью (до 30 % и более) обладают розовые граниты. Остальные исследованные породы характеризуются промежуточными значениями этого параметра.

Цветовой тон изменяется от 560 нм у кимберлитов и 578 нм у базальтов до 604 нм у розовых гранитов. Как бы исключением из этого ряда являются амазонитовые (зеленые) граниты, цветовой тон которых находится в интервале 510—550 нм. Метеориты обнаруживают близкие к базальтам и кимберлитам цветовые тона.

Светлота отчетливо возрастает при переходе от кимберлитов к базальтам и от них к гранитам. Заметим, что в этом ряду крайние представители отчетливо различаются по глубинам, температурам образования и минерально-химическому составу: кимберлит — наиболее глубинная порода с наименьшим содержанием кремнекислоты, кристаллизующаяся при относительно высоких температурах (1000—1200°С). Показательно, что самыми светлыми тонами в целом отличаются пегматиты — аналоги гранитов (с большими размерами составляющих их кристаллов, зерен), образующиеся при наиболее низких температурах (500—400° С и менее) в верхних, купольных частях гранитных тел или над ними. Таким образом, наши колориметрические исследования горных пород подтверждают основные идеи и наблюдения А. Е. Ферсмана, который еще полвека назад писал о закономерной смене темных глубинных силикатных пород, возникающих при высоких температурах, светлыми, относительно низкотемпературными приповерхностными образованиями[5].

Сейчас мы вправе, пожалуй, говорить еще и о том, что по мере дифференциации земного вещества (от глубинных к поверхностным образованиям) имеет место своеобразный расцвет минерального мира — увеличение количества видов и расширение разнообразия их цветовых параметров. Это, в частности, подтверждается известным цветовым разнообразием наблюдаемых на поверхности осадочно-метаморфических пород.

Остановимся кратко на причинах цвета горных пород. Очевидно, прежде всего, что цвет горной породы зависит от цвета слагающих ее минералов. Однако не всегда цвет горной породы обусловлен главными породообразующими минералами. Например, цвет розовых гранитов, мраморов и кварцитов чаще вызывается второстепенными минералами (тонкодисперсными гематитом, гетитом и др.), а черный цвет базальтов связан с примесью тонкодисперсного магнетита. Вообще же, горные породы по цветовому тону столь же разнообразны, как и составляющие их минералы. Заметим, кстати, что целый ряд известных самоцветов правильнее считать породами (яшмы, лазурит, нефрит, жадеит, чароит и др.).

Далее, как известно, цвет объекта определяется в первую очередь спектром его отражения. Спектр полиминерала менее селективен, чем у его компонентов. Поэтому и насыщенность — вспомним ее определение — для горной породы всегда оказывается ниже, чем для отдельных минералов. Чем сложнее минеральный состав породы, тем менее насыщен ее цвет, и наоборот.

Светлота зависит не только от минерального состава породы, но и от ее структуры — главным образом зернистости (магматические и метаморфические породы) или гранулометрического состава (осадочные рыхлые породы). Эти зависимости в общем случае неоднозначны. То или иное соотношение нерудных и рудных минералов в горной породе может быть причиной увеличения или уменьшения светлоты по мере уменьшения размеров зерен. В качестве примеров назовем всем известный белый каррарский мрамор (его светлота растет при измельчении) и черные железомарганцевые конкреции со дна океана, светлота которых при измельчении убывает.

Теперь вернемся к началу этого раздела и зададимся вопросом, можно ли полученные при сравнении земных горных

[5] Ферсман А. Е. Цвета минералов. М., 1936.

Таблица 2
Колориметрические параметры горных пород

Породы	Цвет	Цветовой тон λ, нм	Насыщенность P, %	Светлота Y, %
Земные:				
кимберлит	черный, темно-зеленый	560—575	5—22	10—20
лабрадорит	темно-серый, черный	570—577	5—13	4—13
базальт	темно-серый	570—578	5—23	15—25
серпентинит	темно-зеленый	557—574	10—25	10—40
гранит	красный, розовый	580—603	5—35	10—53
амазонитовый гранит	зеленый	510—550	5—10	42—70
известняк	серый, светло-серый	570—580	5—15	20—80
мрамор	розовый	580—593	10—30	11—40
кварцит	красный	580—604	10—30	12—36
Метеориты:				
ахондриты	серый	566—577	5—12	16—57
хондриты	серый	566—583	5—12	15—49
Астероиды каменные		566—588	8—24	15—72

пород и метеоритов выводы использовать для предварительной оценки свойств вещества на поверхности других космических тел, например астероидов, достаточно детально исследованных дистанционными спектрометрическими методами. Астероиды могут рассматриваться как родительские тела метеоритов — наилучших образчиков первичного вещества Солнечной системы, наименее измененных последующими процессами[6]. Это позволяет сопоставлять, с одной стороны, колориметрические параметры астероидов и метеоритов, а с другой — метеоритов и их земных аналогов (табл. 2). По значениям цветового тона каменные метеориты находятся внутри интервала, установленного для астероидов. Следовательно, последние представляются более разнородными — пестрыми по цвету и составу. Богатая «расцветка» поверхности астероидов подтверждается и другими колориметрическими параметрами — светлотой и насыщенностью.

Эти данные, по нашему мнению, могуть быть объяснены так. Открытая поверхность астероидов сложена более полно (по сравнению с метеоритами) дифференцированными и разнообразными горными породами, при этом все три цветовых параметра астероидов меняются в более широких диапазонах.

[6] Симоненко А. Н. Астероиды. М., 1985.

Итак, зачем все-таки измерять цвета минералов? Первоочередными задачами, которые могут быть решены только при обязательном условии использования колориметрии, являются:

объективная и точная оценка драгоценных камней;

распознавание редких и уникальных самоцветов;

диагностика цветовых разновидностей всевозможных минералов;

разработка шкалы цветовых эталонов минералов;

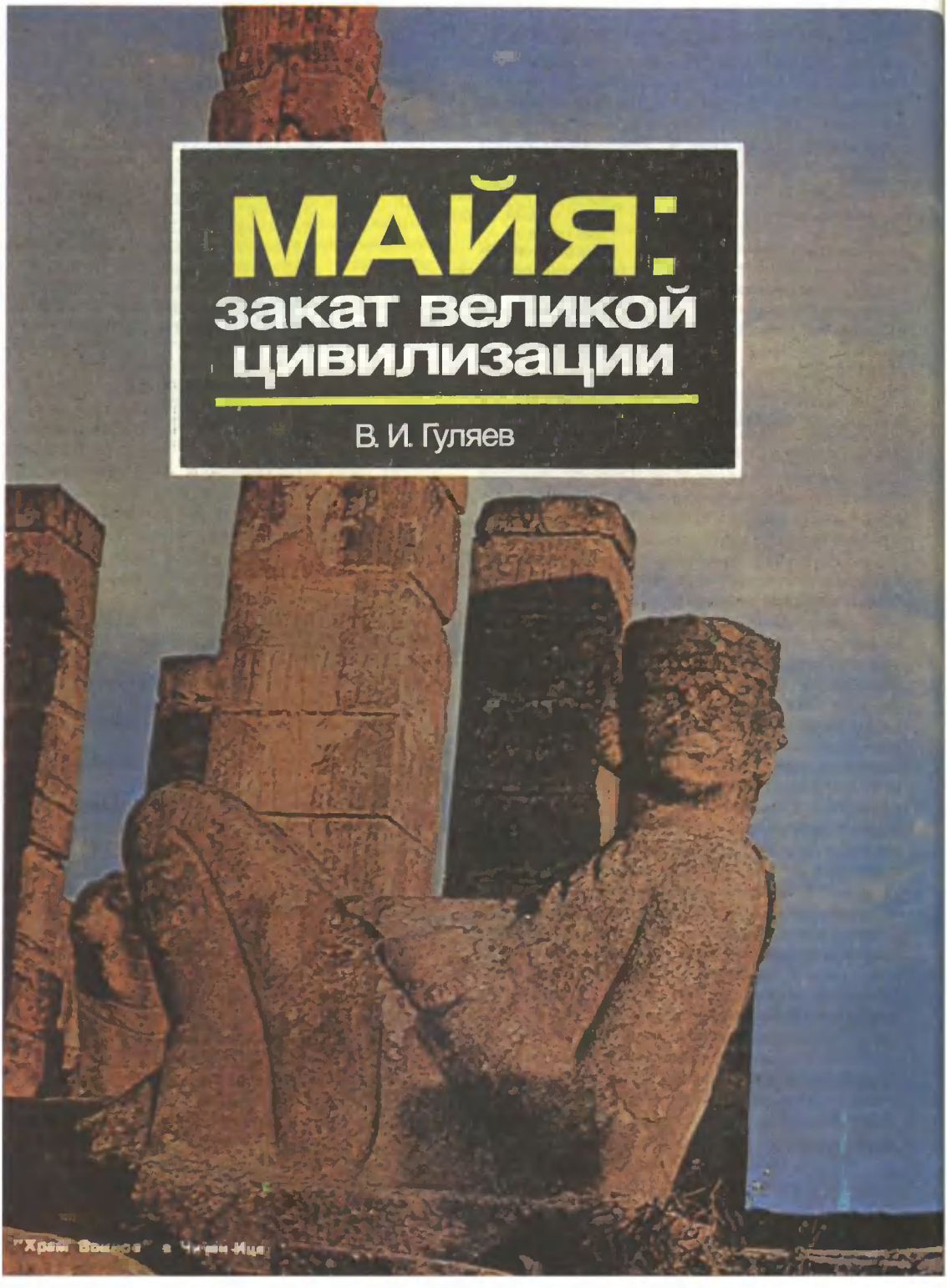
определение оптимальных условий синтеза и облагораживания самоцветов и получение минеральных пигментов;

нахождение количественных зависимостей между цветами минералов и особенностями их состава, структуры и происхождения.

Следует, наконец, помнить, что цвета окружающей нас Природы, включая ее минеральную часть, являются эстетическим качеством, влияющим на настроение, состояние, самочувствие, одним словом, создающим цветовой климат. Его исследования, вне сомнения, также должны быть поставлены на количественную — колориметрическую — основу.

МАЙЯ: закат великой цивилизации

В. И. Гуляев



За пятнадцать веков до плаваний Колумба индейцы майя создали в глубине вечнозеленых тропических лесов нынешних юга Мексики и севера Гватемалы одну из наиболее ярких и высокоразвитых цивилизаций Нового Света. Они изобрели точный солнечный календарь и сложнейшую иероглифическую письменность, использовали в математике понятие нуля раньше индейцев и арабов, уверенно предсказывали солнечные и лунные затмения. Майя достигли поразительного совершенства в архитектуре, скульптуре, живописи и производстве керамики. Они создали разнообразные и эффективные системы земледелия, включая искусственное орошение (ирригацию), построили в джунглях десятки крупных городов, поддерживали торговые связи с близкими и дальними областями. Но вместе с тем их орудия труда оставались крайне примитивными и изготовлялись только из дерева, камня и кости. Майя не знали металлов (до X в.), колесных повозок, вьючных и тягловых животных, гончарного круга. Они жили еще, по сути дела, в каменном веке.

Валерий Иванович Гуляев, доктор исторических наук, заведующий отделом Института археологии АН СССР. Специализируется по археологии и древней истории Латинской Америки. Автор книг: Америка и Старый Свет в доколумбову эпоху. М., 1968; Идолы прячутся в джунглях. М., 1972; Древнейшие цивилизации Мезоамерики. М., 1972; Города-государства майя. М., 1979; Древние майя. М., 1983. Неоднократно печатался в «Природе» (1981, № 5; 1982, № 9).

ОБЛИК ЦИВИЛИЗАЦИИ

Происхождение майя окутано пеленой таинственности. Около 3 тыс. лет назад отдельные группы индейцев — предков майя — начали постепенно продвигаться из горных районов в глубины лесной равнинной зоны на юге Мексики и севере Гватемалы. В целом это была не слишком благоприятная для жизни территория. Тропические летние ливни сменялись полной сушью в зимний период. Во многих местах единственным источником воды служили искусственные, созданные человеком водоемы — цистерны и резервуары, хотя встречались и водоемы естественные. Картину дополняли ядовитые змеи, скорпионы, москиты и летучие мыши.

В этих условиях первые колонисты-майя построили в джунглях хижины из дерева и глины с высокими крышами из пальмовых листьев. Они вырубали лес грубыми каменными топорами и выжигали его, расчищая в лесных зарослях небольшие участки для скромных посевов маиса (кукуруза), фасоли и тыквы. Так продолжалось в течение многих столетий. Мы знаем лишь, что появление высокой культуры и государственности относится у майя к рубежу нашей эры. Именно дальние потомки первых колонистов возвели в джунглях каменные города и заложили основы будущей блестящей цивилизации.

На территории Центральной области майя в ходе исследований был установлен один бесспорный факт: все жилые постройки, как правило, располагались небольшими группами из 2—5 зданий, размещенных вокруг открытых двориков и площадей. Такая планировка позволяет предположить, что важнейшей социальной единицей у майя в I тысячелетии н. э. была большая семья, состоявшая из старшей пары и их женатых и неженатых детей. На основе некоторых археологических данных (например, погребений мужчин в храмах и святилищах) можно предположить патриархальный характер этих большесемейных домовладений.

Группы жилищ входили составной частью в более крупные объединения — деревушки или небольшие поселки в сельской местности и кварталы в городах. Обычно они объединяли в своих пределах от одной до нескольких сотен человек. Подобные единицы в Тикале (Петен, Северная Гватемала) конца I тысячелетия н. э. насчитывают от 17 до 33 домовых построек.

Скорее всего, население деревень и кварталов объединялось в общины, где, помимо обычных жилищ, были небольшие общественно-административные постройки, а также скромные храмы или святилища. Наличие в небольших сельских памятниках погребений с нефритовыми изделиями и привозной керамикой, а также крохотного храма или какой-либо другой общественной постройки свидетельствует о существовании в каждой общине зажиточной верхушки: жреца, главы общины или богатых домовладений. Сельские общины находились в подчинении крупного городского центра, образуя вместе с ним особую территориально-политическую единицу — город-государство, во главе которого стояли наследственные правители.

В городах жили торговцы и ремесленники, чиновники разных степеней и рангов (писцы, сборщики налогов, судьи), жрецы и профессиональные воины. Их изображения встречаются и на расписной керамике, и на фресках, и на каменных рельефах. Вполне возможно, что у майя были рабы: терракотовая статуэтка с о. Хайна изображает почти обнаженного худого мужчину с деформированной головой и татуированным лицом, который привязан веревкой за кисти рук к столбу. Ремесленные «гильдии» располагались каждая в своем «квартале». В одном из таких «кварталов» Тикаля найдено много керамических изделий: курильниц, зажимов для занавесей и циновок, статуэток и т. д., что, возможно, указывает на его гончарную специализацию.

Аналогичную корпоративную организацию имели в I тысячелетии н. э. профессиональные торговцы майя, тесно связанные с правящими династиями

Территория культуры майя в I — начале II тысячелетия. Показаны границы, в пределах которых располагались наиболее крупные города.

своих городов. Однако основная масса горожан занималась, по-видимому, различными видами сельскохозяйственной деятельности.

Судя по изображениям на стенах и рельефах, во главе общества майя стоял светский правитель, или царь. Росписи глиняной посуды имеют, как правило, 4 мотива: правитель, сидящий на троне в окружении слуг и сановников; божество со старческим лицом, выглядывающее из раковины (видимо, богулитка); два юных персонажа, внешне похожих друг на друга; божество в виде летучей мыши с символами смерти. Эти сцены часто сопровождаются короткими, стандартными по форме иероглифическими надписями. Между более или менее понятными иероглифами стоят знаки в виде голов различных богов, большинство из которых ассоциируется со смертью и подземным миром. Некоторые ученые подобную керамику считают погребальной. Однако многие росписи на сосудах содержат вполне земные, светские мотивы: «правитель на троне», «батальная сцена» и пр. В одной из батальных сцен в ожесточенной схватке столкнулись два отряда; более многочисленный, судя по всему, битву проиграл. Три воина из его состава попали в плен, и их уводят торжествующие победители.

Вполне вероятно, что в I тысячелетии у майя власть правителя была сакрализована: умершие вожди почитались как превратившиеся в сильных и опасных духов; вождь выполнял ритуальные и культовые функции. Военный аспект царской власти у майя подчеркивается обилием военной тематики в изобразительном искусстве («царь на поле брани», «сцены триумфа» и т. д.), а также вероятным происхождением ее из института военных вождей.

БОГИ И ЗЕМЛЕДЕЛЬЦЫ

Считается общепризнанным, что тот вид экстенсивного подсечно-огневого земледелия — система «мильпа»

(ацтекское слово означает «маисовое поле»), который обнаружили у индейцев Юкатана в XVI в. испанские конкистадоры, был широко распространен у майя на всей их территории начиная со II тысячелетия до н. э. Большое значение такого земледелия в их жизни нашло отражение в мифологии и искусстве, в религиозных представлениях, тесно связанных с повседневной деятельностью народа.

В уцелевших иероглифических рукописях майя XII—XV вв. тексты религиозно-календарного характера сопровождаются многочисленными цветными рисунками, отражающими все основные моменты земледельческого цикла: вырубку и выжигание участков в лесу, сев и т. д. Причем действующими лицами во всех этих актах являются божества — покровители земледелия. Чаще всего в рукописях изображен бог ветра и дождя К'аш-иш: он показан обычно на фоне потоков дождя, с топором, горящим факелом и палкой-копалкой, т. е. с орудиями подсечно-огневого земледелия.

В древности покровитель земледельцев — бог дождя — носил имя Ч'ак — Топор; в данном случае топор — не оружие, а главное орудие земледельца. Согласно списку 13 небесных богов древних майя, в I тысячелетии н. э. Ч'ак был владыкой 6-го неба. Иероглиф лицевого варианта цифры 6 представляет собой «портрет» этого божества с горбатым коротким носом и оскаленными верхними резцами. Наиболее характерный признак его — стилизованный знак топора, вписанный в глаз. Таким образом, в условиях господства мильповой системы земледелия топор стал главным орудием земледельцев майя и важнейшим атрибутом их бога-покровителя. На одном из каменных рельефов с городища Тикаль изображен правитель или жрец, облаченный в пышный костюм с изображением лягушки на груди (земноводные ассоциировались с дождем, водой, плодородием) и левой рукой опирающийся на мотыгу. Правая рука его поднята ладонью вверх, как бы взывая к богам.

Система «мильпа», сохранившаяся у потомков древних майя, хорошо изучена и этнографами. Суть ее состоит в расчистке от зарослей участка джунглей, выжигании засохшей растительности и посадке семян маиса, фасоли и тыквы в удобренную золой почву в начале сезона дождей. Подобная система требовала значительных площадей свободной земли и обусловливала разбросанный характер расселения людей — в виде небольших деревушек и «хуторов». По подсчетам специалистов, подсечно-огневое земледелие могло обеспечить пищей в среднем от 30 до 76 человек на 1 км^2.

При наличии одного подсечно-огневого земледелия довольно трудно объяснить появление у древних майя и многолюдных городов, и высоких достижений культуры. Между тем за последние десятилетия удалось обнаружить на территории Южной Мексики и Северной Гватемалы и самые разнообразные формы интенсивного земледелия — ирригационные и дренажные каналы, системы «приподнятых полей», водосборные каналы и искусственные озера в засушливых районах, террасы на склонах гор и холмов и т. д. Эти более продуктивные формы земледелия в сочетании с «мильпой» и другими видами хозяйственной деятельности (пчеловодство, охота, рыбная ловля и др.) могли обеспечить в среднем с 1 км^2 площади пищей более 700 человек. Все это во многом объясняет загадку «экономического чуда» одной из наиболее блестящих цивилизаций доколумбовой Америки[1].

ЗАКАТ ЦИВИЛИЗАЦИИ

Майя без устали строили изящные храмы, гигантские дороги-дамбы, дворцы и пирамиды. В течение долгого времени росли и расширялись старые селения и города, возникали новые, пока в IX в. на цветущие земли майя не обрушилась внезапно какая-то таинственная катастрофа.

Всякое архитектурное строительство в городах прекратилось. Зодчие не возводили больше под руководством жрецов громоздких каменных стел с ликами царей и вычурными иероглифическими надписями. Один за другим приходили в запустение города. Жители покидали их, бросая на произвол судьбы дома, дворцы, святилища и храмы. Опустевшие безмолвные площади, дверные проемы зданий покрыли буйные лесные заросли. Лианы и корни деревьев расшатывали фундаменты и крыши массивных каменных построек, а кустарники мгновенно заполняли свободное пространство. Считанные десятилетия спустя города древних майя исчезли. К моменту появления первых европейских мореплавателей у берегов Нового Света от цивилизации майя классического периода (I—IX вв.) осталось лишь смутное воспоминание и туманные легенды в памяти ее далеких потомков — индейцев.

Еще со времен Дж. Л. Стефенса — первооткрывателя городов майя в 40-х годах XIX в.— исследователи ломали себе голову, пытаясь объяснить причины катастрофы, в ходе которой огромная географическая область, населенная одним из наиболее энергичных и высокоразвитых народов древней Мезоамерики, пришла в запустение, а ее города за одно столетие превратились в развалины.

Корни этих событий следовало искать в конкретных исторических фактах. К сожалению, материалов, относящихся к концу классического (I—IX вв.) и началу постклассического (X—XVI вв.) периодов, т. е. ко времени кризиса майяской цивилизации, оказалось немного, и они имели противоречивый характер. Это и породило, на наш взгляд, пестроту взглядов и мнений. Прежде всего, необходимо было еще раз тщательно проверить все реальные проявления «кризиса», отразившиеся в археологических

[1] Подробнее об этом см.: Гуляев В. И. Каналы древних майя // Природа. 1981. № 5. С. 122; он же. Земледелие древнейших майя // Природа. 1982. № 9. С. 88—97.

находках и точно определить хронологические рамки этого драматического события.

По первым, весьма поверхностным, наблюдениям выходило, что к концу IX—началу X вв. на большей части низменных лесных областей майя (мексиканские штаты Табаско, Чьяпас, Кампече, а также Юкатан, Кинтана-Роо, Северная Гватемала, Белиз, северо-западный район Гондураса) жизнь в городах прекращается или же сводится к минимуму.

Однако, как показали дальнейшие события, эта оценка была верна лишь наполовину. В конце I тысячелетия в жизни общества древних майя действительно наблюдается какой-то кризис. Внешне он выражался в том, что в городах не велось больше крупного архитектурного строительства и не возводились стелы с календарными датами по эре майя. Был ли этот кризис быстрым и внезапным?

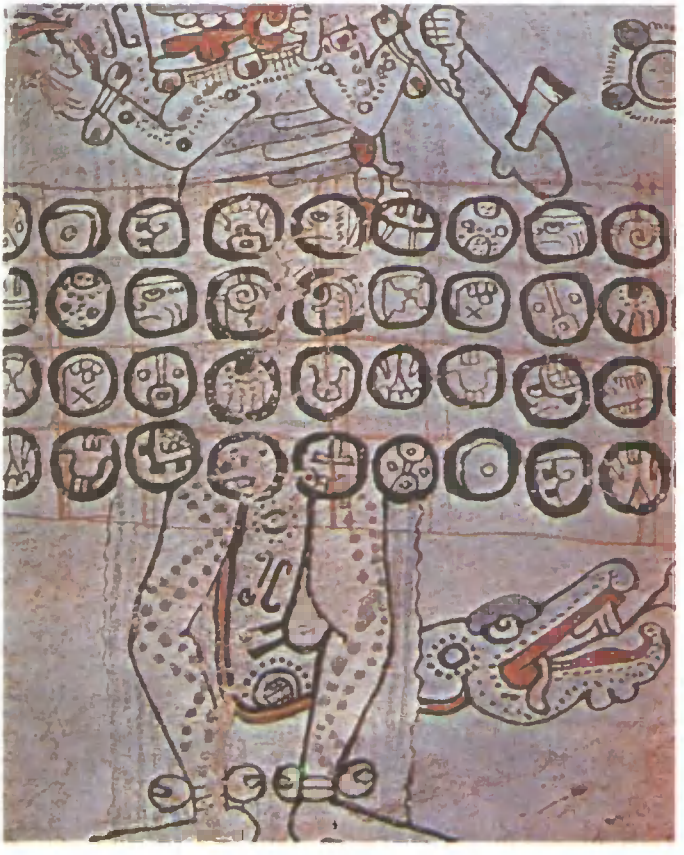
В некоторых случаях, как отмечает американский историк Э. Томпсон, эти строительные работы были прекращены столь внезапно, что платформы, созданные для того, чтобы служить фундаментом для каких-то зданий, остались пустыми, а в Вашактуне стены самого позднего храма оказались недостроенными. В Тикале два последних этапа в развитии местной керамики назывались «Имиш» и «Эснаб». Первый из них длился с 700 до 830 г., а второй — с 830 до 900 г. В течение этапа «Имиш» наблюдается наивысший расцвет города. Именно тогда были построены пять из шести великих тикальских храмов, несколько пирамид-близнецов и десятки дворцовых ансамблей. Максимальных размеров достигло и население: раскопки показали, что в это время функционировало до 90 % всех известных в городе жилищ. По подсчетам специалистов, в VIII в. Тикаль с округой имел около 50 тыс. жителей (из них — не менее 1/5 находилось в самом городе).

Керамика «Эснаб» происходит непосредственно от гончарных традиций «Имиш» и следует сразу же за ним по времени. Создатели ее были прямыми потомками людей

Лестница «Храма Воинов» в Чичен-Ице. XI — XII вв.

«Имиш». Но как разителен контраст между этими двумя этапами! В начале «Эснаба» прекратилось всякое строительство и резко сократилось местное население. Из нескольких сотен жилищ, вскрытых раскопками, ни в одном не оказалось керамики «Эснаб». Она встречена лишь внутри дворцовых зданий. Но люди жили там уже не как цари — в изобилии и роскоши, а под угрозой падения с потолка обветшалой крыши и штукатурки со стен. Это были не завоеватели, не пришельцы. Это были всего лишь жалкие потомки прежних майя. Да и их осталось совсем немного: по подсчетам археологов, население Тикаля во время «Эснаба» составляло не более 10 % от населения 800 г. Но, возможно, население «Имиш» вовсе не погибло? Не исключено, что оно в силу каких-то неизвестных нам причин просто покинуло свои города и ушло в окрестные селения земледельцев. В период всеобщего хаоса и анархии, когда старые боги и старые правители потеряли всякий авторитет, такое решение было бы вполне оправданным и логичным.

Однако тщательные археологические исследования, проведенные в деревнях и селах, некогда окружавших Тикаль, показали, что положение там было аналогично положению в городе — полное запустение. И если в бывшей столице какие-то немногочисленные группы людей ютились еще среди каменных громад обветшалых дворцов, то в деревнях не жил уже никто. А через 100—150 лет после возведения стелы с календарной датой 868 г. последний ин-



Изображение на глиняном расписном сосуде из Небаха. XII в.

деец покинул Тикаль. Примерно такая же картина наблюдалась в IX в. и в других майяских городах — Вашактуне, Паленке, Пьедрас-Неграс, Копане, Альтун-Ха и др.

Таким образом, вряд ли приходится сомневаться в том, что индейцы майя в низменной лесной зоне пережили в конце I тысячелетия подлинное бедствие. Их классическая цивилизация на юге Мексики и севере Гватемалы погибла и больше не возродилась.

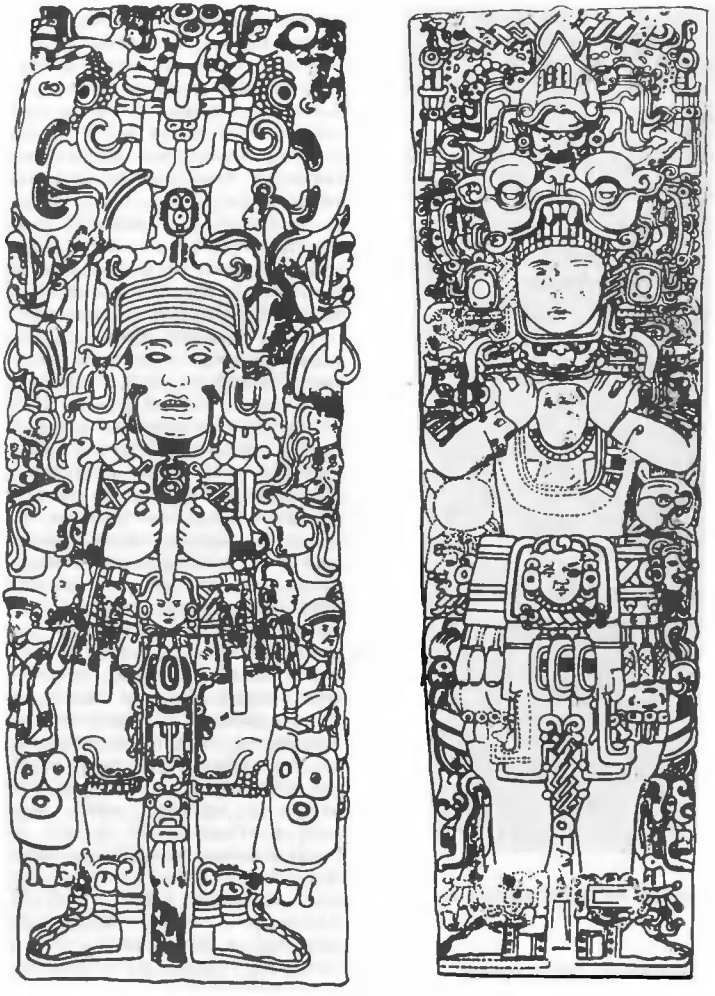
По одной из гипотез, самой неправдоподобной, города майя были разрушены все одновременно сильным землетрясением. Она основана на том, что многие архитектурные сооружения позднеклассического времени представляют собой сейчас сплошную груду развалин, словно разбитые одним исполинской силы ударом. Кроме того, горные районы Чьяпаса и Гватемалы, где жили некоторые группы майя, известны своей бурной вулканической деятельностью. Но дело в том, что Петен и Юкатан, где находились крупнейшие центры классической цивилизации майя, лежат вне активной сейсмической зоны.

Существует также предположение, что причиной гибели культуры майя в IX в. могло быть катастрофическое уменьшение количества дождевых осадков и вызванный этим «водный» голод и засуха. Однако последние геохимические и биологические изыскания в джунглях Петена показали, что незначительное сокращение ежегодных осадков, действительно наблюдавшееся к концу классического периода, никак не могло отразиться на развитии цивилизации майя, а тем более вызвать ее крах. Версия о повальных эпидемиях малярии и желтой лихорадки тоже оказалась несостоятельной, поскольку обе болезни не были известны в Америке до прихода европейцев.

Одной из наиболее распространенных до последнего времени была гипотеза американского археолога С. Морли, который объяснял упадок классических городов крахом системы подсечно-огневого земледелия, поскольку оно оказалось не в силах обеспечить потребности быстро растущего населения городов. В своей фундаментальной монографии «Древние майя» Морли пишет: «Непрерывное уничтожение леса для использования расчищенной площади под посевы маиса постепенно превратило девственные джунгли в искусственную саванну, покрытую высокой травой. Когда этот процесс закончился и вековой тропический лес был почти целиком сведен и заменен искусственно созданными лугами, то земледелие в том виде, как оно до сих пор практиковалось у древних майя, пришло в упадок, ибо у них не было никаких земледельческих орудий — мотыг, кирок, борон, заступов, лопат и плугов. Именно это экономическое банкротство и послужило главной причиной гибели „Древнего царства“ майя»[2].

Эта версия долгое время пользовалась всеобщим признанием среди специалистов. И только исследования последних лет заставили пересмотреть основные положения гипотезы Морли. Прежде всего, был поднят вопрос — действительно ли майя исчерпали свои резервы невозделанных земель, поскольку старые участки пришли в негодность. Археолог А. В. Киддер (США) установил, что почва долины р. Мотагуа (Гватемала) ежегодно обновляется во время паводков, и, следовательно, плодородие этих земель не может иссякнуть. То же самое и в долинах дру-

[2] Morley S. G. The Ancient Maya. Stanford, 1947. P. 110.



Культовые фигуры на стелах. Копан, Гондурас. VI—IX вв.

гих крупных рек в низменных лесных областях майя, например Усумасинта, Белиз, Улуа. Некоторые исследователи отметили, что в Петене пустующие поля немедленно зарастают вторичным лесом, а не травами. По Морли, истощение земель должно было произойти сначала в более древних центрах. Однако, к примеру, такой город, как Тикаль, который, даже судя по стелам с календарными датами, существовал не менее шести веков, приходит в упадок позже (после 869 г.), чем более молодые центры в бассейне р. Усумасинты.

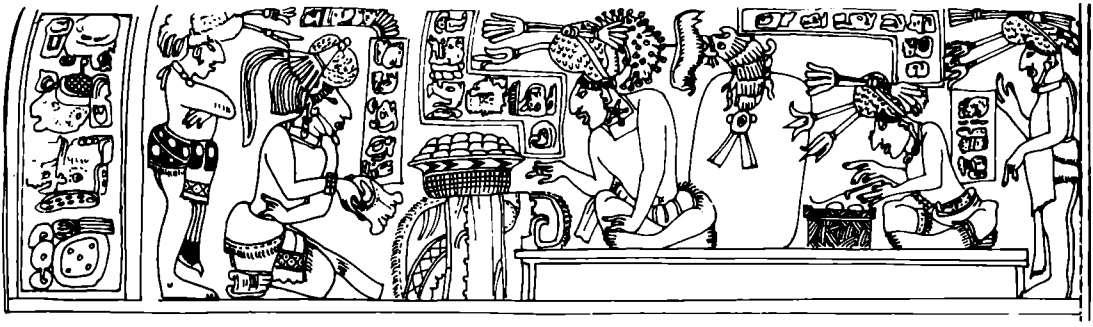
Значительной популярностью пользовалась до недавнего времени и «социальная» гипотеза Э. Томпсона (США). Согласно ей, упадок классических центров культуры майя связан с внутренними социальными конфликтами и потрясениями.

Отправной точкой для рассуждений Томпсона послужил один, на первый взгляд, малопримечательный факт: в ходе раскопок древнего города Пьедрас-Неграс археологи с удивлением обнаружили, что почти все найденные там каменные скульптуры, изображающие правителей, намеренно повреждены или разбиты. Такое же явление было отмечено и в Тикале. Но кто мог покуситься на эти наиболее священные и почитаемые реликвии? Томпсон отвергает версию о нашествии чужеземцев и приписывает эти акты вандализма внутреннему врагу — рядовому земледельцу, восставшему против гнета аристократов и жрецов.

Крупные социальные потрясения — неизбежные спутники любого классового общества — действительно могли послужить причиной (или одной из причин) гибели некоторых городов-государств в конце I тысячелетия. Но подобных городов-государств было тогда у майя только в низменной лесной зоне не менее двух-трех десятков, и вряд ли все они почти одновременно подвергались захвату и опустошению со стороны восставших низов. Кроме того, выяснилось, что и в Тикале, и в других городах майя классического периода стелы и алтари с изображениями правителей и богов подвергались разрушению и порче не только в VIII—X вв., а на протяжении всего существования цивилизации. Это был какой-то важный государственный ритуал или обряд: по прошествии определенного цикла времени (может быть, двадцатилетия — «катуна»?) монумент портили или разбивали, совершая как бы тем самым его ритуальное «убийство». Но суть в том, что и после данного акта он продолжал оставаться объектом почитания со стороны горожан: ему приносили жертвы и дары, в его честь возжигали благовония.

ВЕРСИЯ О ЧУЖЕЗЕМНОМ НАШЕСТВИИ

Когда экологические и внутренние причины кризиса общества майя в конце I тысячелетия обнаружили свою несостоятельность, ученые вновь вернулись к гипотезе о нашествии на земли майя различных центральномексиканских народностей и племен: либо теотихуаканцев (VII—VIII вв.), либо тольтеков, вторгшихся на



Фрагмент страницы Дрезденского кодекса майя. XII в.

Юкатан, согласно смутным сообщениям хроник, в конце X в.

Но и здесь остается много неясного. Теотихуаканское нашествие могло произойти (учитывая время гибели самого этого центра) не позднее конца VII — начала VIII вв. Тольтеки появились на Юкатане, как уже говорилось, лишь в конце X в. Спрашивается, кто же сокрушил тогда важнейшие города майя в Петене, пришедшие в запустение как раз между концом VIII и началом X вв.?

В 60-х годах при раскопках древнего города Алтар-де-Сакрифисьос, расположенного у слияния рек Салинас и Пасьон, в департаменте Петен (Северная Гватемала), археологи установили интересную картину. В конце IX в. общий облик местной майяской культуры резко нарушается. И на смену исчезнувшим классическим традициям приходит совершенно иной культурный комплекс, не имеющий местных корней. Материалы этого чужеродного комплекса, получившего название «Химба», состоят только из изящной керамики с оранжевой гладкой поверхностью и терракотовых статуэток, напоминающих по облику некоторые центральномексиканские глиняные фигуры. Физический тип, одежда, украшение и оружие (копьеметалки и пучки дротиков) совершенно не похожи на мотивы классического искусства майя.

Обилие упомянутых чужеземных материалов в верхних слоях городища и отсутствие местных свидетельствуют о полной смене культуры (а может быть, и населения?) в Алтар-де-Сакрифисьос где-то около 868—909 гг. (хронологические рамки комплекса «Химба»).

В 120 км к востоку от Алтар-де-Сакрифисьос находятся руины еще одного крупного города майя классического периода — Сейбаля. По данным археологов, этот город существовал непрерывно с 800 г. до середины X в., причем последний этап его жизни — «Байяль Бока» — длился (судя по календарным датам на стелах) с 830 до 950 г. Именно в это время в Сейбале появляется много новых черт и влияний, чуждых классической структуре майя. Во-первых, наблюдается массовый наплыв уже знакомой нам изящной оранжевой и серой керамики, а также терракотовых статуэток центральномексиканского облика. Во-вторых, целая группа каменных стел с календарными датами от 850 до 890 г. содержит скульптурные изображения, совершенно не похожие на классическое искусство майя и близкие по стилю искусству Центральной Мексики и побережья Мексиканского залива: странные фигуры людей с длинными до пояса космами волос и украшениями-трубочками в носу. Наконец, весьма необычно для архитектуры майя и круглое в плане здание храма, обнаруженного недавно в Сейбале. В то же время круглые постройки довольно часто встречаются на тольтекских памятниках Юкатана. Этот набор чужеземных черт в культуре города дополняет плоская каменная голова — так называемая «ага» (исп. «топор»). Подобные изделия очень характерны для культуры населения Южного Веракруса и Западного Табаско в конце I — начале II тысячелетия.

Таким образом, полученные в ходе раскопок данные свидетельствуют о том, что в IX в. Сейбаль был, по-видимому, захвачен какой-то группой чужеземцев, связанных по своей культуре с побережьем Мексиканского залива (Табаско, Веракрус, Кампече) и с Центральной Мексикой. Однако, в отличие от Алтар-де-Сакрифисьос, события в Сейбале развивались по другому сценарию: завоеватели обосновались в городе на довольно длительный срок, частично слившись при этом с местным населением (майя), в результате чего возникла своеобразная синкретическая культура (об этом свидетельствуют, например, поздние стелы, изображающие персонажей в центральномексиканских костюмах, но имеющие календарные даты по эре майя). Правда, фатального исхода не удалось избежать и здесь: к середине X в. Сейбаль превратился в пустыню.

В Паленке, расположенном далеко на западе территории майя, вскоре после появления там — в начале IX в.— большого количества оранжевой тонкой керамики, происходит быстрый упадок местной культуры. И здесь при раскопках неоднократно встречались резные каменные предметы, получившие у специалистов условные названия ярма и топоров.

Как известно, эти изделия служат одним из наиболее характерных признаков цивилизации тотонаков (столица Эль-Тахин) и других племен, живших на территории мексиканских штатов Веракрус и Табаско. Аналогичные находки («оранжевая» изящная посуда, топоры и ярма) сделаны теперь и в ряде других городов майя низменной лесной зоны: в Йашчилане, Тикале, Копане и т. д. Типологический и химический анализ «оранжевой» керамики из всех этих майяских городов показал полную ее идентичность с изделиями гончаров, живших на побережье Мексиканского залива, в Табаско и Кампече, где и находился, видимо, основной центр ее производства. Таким образом, мы знаем теперь время чужеземного нашествия на земли майя (начало IX — середина X вв.) и тот исходный район, откуда двинулись в поход завоеватели) прибрежные территории мексиканских штатов Веракрус, Табаско и Кампече). Остается решить, кто именно, какой народ или государство сокрушили одну из наиболее ярких цивилизаций доколумбовой Америки?

Рисунок, сделанный по мотивам «Храма Фресок» в Бонампаке, на котором представлены различные слои общества.

ГИПОТЕЗА О НАРОДЕ «ПИПИЛЬ»

Мексиканский ученый В. Х. Морено предложил в связи с этим весьма правдоподобную гипотезу. Он напомнил, что, по сообщениям древних летописей, примерно в конце VIII в. так называемые «исторические ольмеки» захватили большой город Чолула (штат Пуэбла, Мексика), где после гибели Теотихуакана (в VII в.) обосновалось значительное теотихуаканское население и продолжали развиваться традиции прежней центральномексиканской культуры. Спасаясь от «ольмеков», жители Чолулы вынуждены были бежать на побережье Мексиканского залива, где они и осели на некоторое время в южной части штатов Веракрус и Табаско. Здесь они подверглись, по всей вероятности, сильному влиянию со стороны культуры тотонаков, главный центр которой Эль-Тахин находился в Центральном Веракрусе. Именно от тотонаков восприняли, видимо, переселенцы комплекс «топор — ярмо». В итоге всех этих событий прямые наследники теотихуаканских традиций, усвоив ряд черт других культур и даже частично слившись с ними, превратились в народ «пипиль», глухо упоминаемый в старых индейских преданиях. Теснимые своими врагами «ольмеками», «пипиль» двинулись на юго-восток, в области майя. Это и есть та самая волна завоевателей, которая принесла в различные города майя оранжевую керамику, каменные ярма и топоры. Вторжение «пипиль» на территорию майя происходило с 800 до 950 г. по двум основным направлениям: вдоль р. Усумасинты и ее притоков — на юго-восток (Паленке, Сейбаль, Алтар-де-Сакрифисьос) и по побережью Мексиканского залива — к городам Юкатана. Некоторые исследователи связывают носителей «оранжевой» керамики с жившими в XVI в. на территории Табаско и Кампече группами «мексиканизированных» (т. е. подвергшихся заметному влиянию со стороны культур Центральной Мексики) майя-чонталь, или майя-путун.

Однако даже эта весьма вероятная гипотеза о нашествии воинственных племен «северян» на земли майя в 800—950 гг. не до конца согласу-

Страница Дрезденского кодекса с иероглифами майя. XII в.

ется с известными фактами. Если на северо-западе территории майя, например в Сейбале, Паленке и Алтар-де-Сакрифисьос, последние дни этих городов действительно совпадают с широким распространением инородной оранжевой керамики, то дальше к югу, в центре Петена, такая керамика появляется лишь **после** упадка столиц майя, и представлена она довольно немногочисленными образцами. Это позволило предположить, что появление оранжевой изящной посуды с побережья Мексиканского залива явилось не причиной, а результатом упадка майяских городов в самом конце I тысячелетия.

О ЧЕМ СВИДЕТЕЛЬСТВУЕТ КОМПЛЕКСНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ?

Итак, все попытки объяснить катастрофу, постигшую классическую цивилизацию майя, лишь ссылками на какую-то одну, хотя и важную, причину потерпели неудачу. И когда в 1970 г. в Санта-Фе, штат Нью-Мексико (США), была созвана специальная конференция для рассмотрения проблемы гибели городов майя в IX—X вв., ее участники были единодушны в одном: такое сложное и многоплановое явление, как катастрофа целой цивилизации, можно объяснить только комплексно — на основе серии взаимосвязанных причин. Одну из таких попыток предпринял на конференции археолог П. Т. Калберт: «Я полагаю, что крах майя — это типичный случай отклонения культуры от нормы, когда она развивается слишком быстро и использует свои ресурсы слишком беззаботно по отношению к окружающей природной среде. Майя истощили свои ресурсы не только в отношении возможностей их земледелия, но и в смысле организационных возможностей, способности распределять товары и эффективно использовать рабочую силу. Циклы роста ускорились, а экономическая база оказалась настолько подорванной, что упадок и кризис никто уже не смог остановить»[3].

Не трудно заметить, что перед нами, хотя и в более усложненной форме, вновь предстала старая «экологическая» гипотеза Морли, связывающая гибель классических городов на юге равнинной лесной зоны с истощением природных ресурсов и крахом местного земледелия.

Ясно, что подобные объяснения могли удовлетворить далеко не всех исследователей. Так, больше внимания стало уделяться в ходе раскопок материалам, относящимся к концу классического и началу постклассического периодов. Усилилась тенденция к конкретному рассмотрению событий и фактов не только в главных центрах классической цивилизации майя, но и в сопредельных областях. И тогда выявилась вдруг поразительно разнообразная, мозаичная картина: «крах» великой цивилизации не был ни полным, ни одновременным. В то время как один город в равнинной лесной зоне приходил в запустение, его близлежащий сосед вступал в пору своего расцвета. На севере, на п-ове Юкатан, вообще в IX в. в большинстве городов не было никакого упадка. Скорее, наоборот, они переживали свою луч-

[3] Culbert P. T. The lost civilisation: the story of Classic Maya. N. Y., 1974. P. 112.

шую и наиболее блестящую пору (стиль «Пуук»). Даже в тех юкатанских городах, которые переживали упадок, оставалось зачастую значительное население, продолжавшее жить повседневными делами и заботами. Храмы не строились, стелы не возводились, а жизнь продолжалась.

Но вернемся в южную низменную лесную область, где находились главные города классической эпохи. За последние годы раскопки в районе Петена (в Топошоте, Маканче, Йашха и др.) и Белиза (Ламанай, Нохмуль) заставили многих исследователей пересмотреть традиционные взгляды на ход исторических событий в регионе на стыке классического и постклассического периодов. А. Чейс и П. Райс (США) говорят о наличии довольно многочисленного населения Майя в районе озера Петри-Ица и вокруг него в IX—XII вв., т. е. в эпоху кризиса и краха прежней цивилизации. Они же доказывают преемственность в керамике между создателями постклассической культуры Петена и их классическими предшественниками. В Белизе большой город Ламанай благополучно прошел через все «темные» века истории майя, сохраняя и непрерывно развивая свою культуру от начала I тысячелетия и до испанского завоевания. Существовал до конца X в. в Белизе и еще один город майя — Сан-Хосе: там даже продолжали вести в это время какие-то крупные строительные работы. Если добавить сюда такие города, как Нохмуль и Кольха, с материалами IX, X, XI и последующих веков, то картина на восточной окраине низменной лесной зоны майя получается совершенно иная, чем в центре. Города Белиза, хотя и далеко не все, сумели более или менее благополучно миновать последствия кризиса и дожили, кто до XII—XIII вв., а кто и до европейского завоевания. То же самое происходило и на Юкатане. Учитывая эти факты, некоторые исследователи вообще стали отрицать сам факт наличия «краха» классической цивилизации майя и обезлюдения обширных территорий на юге Мексики и севере Гватемалы (Петен). На мой взгляд, это — явное преувеличение. Необходимость тщательного изучения конкретных фактов в разных городах и в разных районах обширной территории майя отнюдь не может заслонить собой совершенно очевидного вывода: в ряде областей низменной лесной зоны (бассейн р. Усумасинты, Петен и др.) в IX—X вв. наблюдается прекращение монументального строительства и установки стел с календарными датами; налицо явное уменьшение общих размеров населения в селах и городах, хотя мы и не знаем точно, сколько его осталось на старых местах. Это и есть внешние проявления кризиса культуры. Хотя пока не удалось достичь общего согласия по поводу причины или причин упадка цивилизации майя, есть одна мысль, с которой согласны все. Это идея о том, что конец классического периода был временем радикальных политических и социальных перемен по всей Мезоамерике. Старые могущественные центры I тысячелетия в Оахаке (Монте-Альбан), Центральной Мексике (Теотихуакан) и других местах были ниспровергнуты и сошли со сцены. На туманном горизонте мезоамериканской истории появились новые влиятельные государства типа тольтекской «империи». Возросла роль войны и милитаризма в жизни общества. Были пересмотрены старые политические союзы и передвинуты старые торговые пути. И какое бы конкретное воплощение ни получали отдельные исторические события, случавшиеся в той или иной части Мезоамерики, классическая цивилизация майя не могла остаться совсем в стороне от этого всеобщего хаоса и анархии.

«ПРИНЦИП ДОМИНО»

И тем не менее, как же объяснить упадок многих майяских городов в конце I тысячелетия? Окончательного ответа, который мог бы удовлетворить буквально всех, пока еще нет. Можно привести в заключение лишь одну, весьма вероятную версию тех далеких событий. Видимо, гибель некоторых центров классической цивилизации майя была вызвана целым комплексом причин. Причем детонатором, или первоначальным толчком, приведшим в движение остальные разрушительные силы («принцип домино»), было все-таки нашествие чужеземцев (даже если считать ими «мексиканизированных» майя-чонталей, майя-путунов). Вражеское вторжение повлекло за собой новые потрясения — неурожаи, развал экономики, голод, болезни, народные волнения, кризис прежней системы управления и прежних религиозных представлений. Выше уже говорилось, что основу экономического процветания майя в I тысячелетии составляло в низменной лесной зоне интенсивное земледелие в виде разветвленной системы оросительных, дренажных и водосборных каналов, «приподнятых полей» и террас. Их сооружение и поддержание в порядке требовали колоссальных усилий общества. Они были предметом особой заботы со стороны центральной власти — правителя с его мощным бюрократическим аппаратом. И как только вторжение вражеских армий уничтожило или подорвало эту центральную власть, пришли в полное запустение и многие некогда цветущие земледельческие районы майя. Резко сократившееся в результате войн население было уже не в состоянии содержать в трудных условиях тропиков столь сложную и разветвленную систему. И она погибла, а вместе с ней погибли и многие центры майяской классической цивилизации.

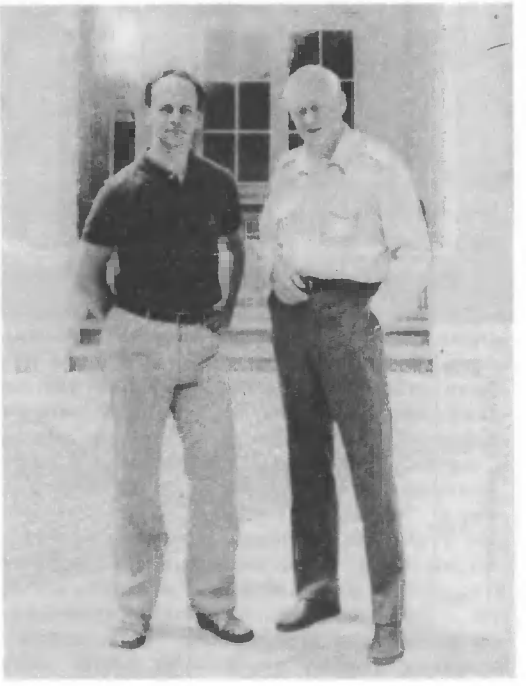
История человечества знает немало примеров подобного рода. Когда в XIII в. орды кочевников вторглись в цветущие земледельческие оазисы Средней Азии, большая часть местной оросительной сети была разрушена или заброшена, и целые районы некогда благодатных земель на века превратились в мертвую пустыню.

БИОСФЕРА и КЛИМАТ глазами биологов

Г. А. Заварзин, У. Кларк

ПОСЛЕ конференции Всемирной Метеорологической Организации в Филлахе (Австрия) в конце 1985 г. большинство специалистов пришло к выводу, что климат Земли будет меняться: в атмосфере растет концентрация углекислоты и других вызывающих парниковый эффект газов и это может привести к существенному потеплению в следующем столетии. Часть парниковых газов обязана своим происхождением хозяйственной деятельности человека. Прежде всего это относится к фреонам, концентрация которых возрастает примерно на 5 % ежегодно[1]. Однако важнейшей причиной усиления парникового эффекта признается углекислота — рост ее концентрации на 0,4 % в год точно установлен, а источником считается сжигание ископаемых топлив[2]. Увеличивается и содержание в атмосфере окиси углерода, которая образуется в двигателях внутреннего сгорания и в воздухе за счет фотохимического окисления органических веществ. Одним из основных источников наблюдаемого увеличения концентрации парниковых газов считается энергетика[3].

Однако в последнее время выяснилось, что с каждым годом в атмосфере увеличивается также содержание метана (на 1—2 %) и закиси азота (на 0,2 %) — газов чисто бактериального происхождения. В связи с этим необходимо более внимательно рассмотреть биологические



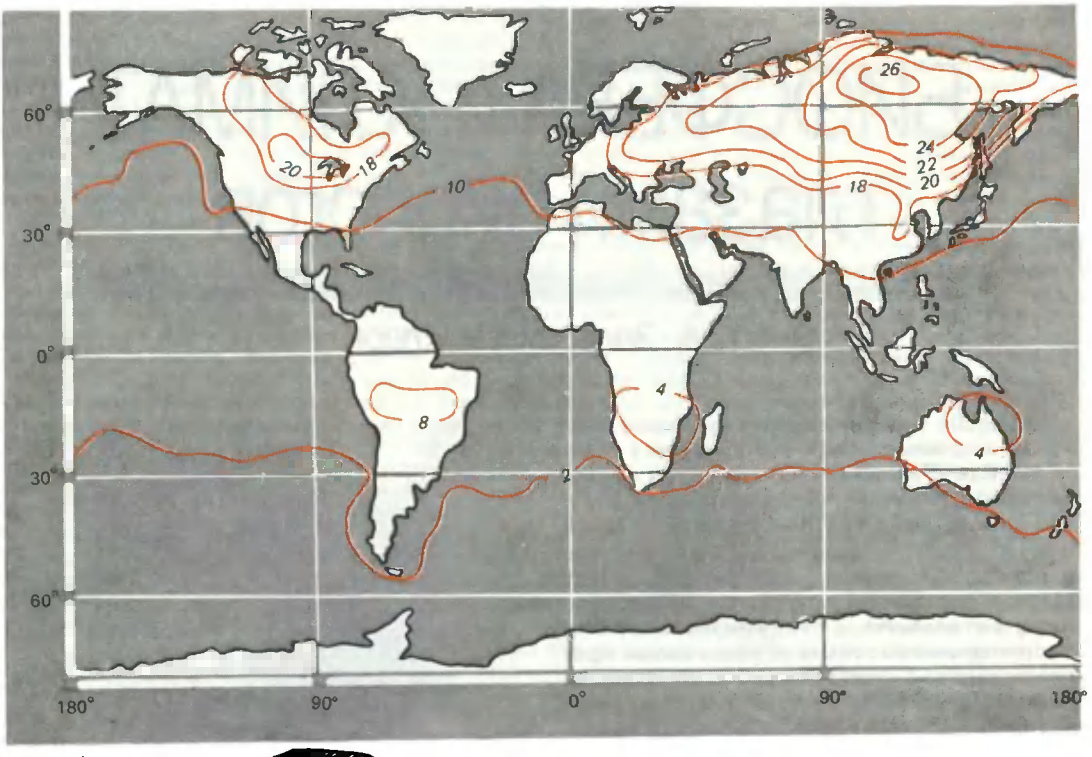
Уильям К. Кларк (William C. Clark), профессор Международного института прикладного системного анализа, член Бюро по атмосферным наукам и климату и Комитета по приложению экологической теории к проблемам окружающей среды Национальной академии наук США. Занимается исследованиями устойчивого развития биосферы и стабильности экологических систем.

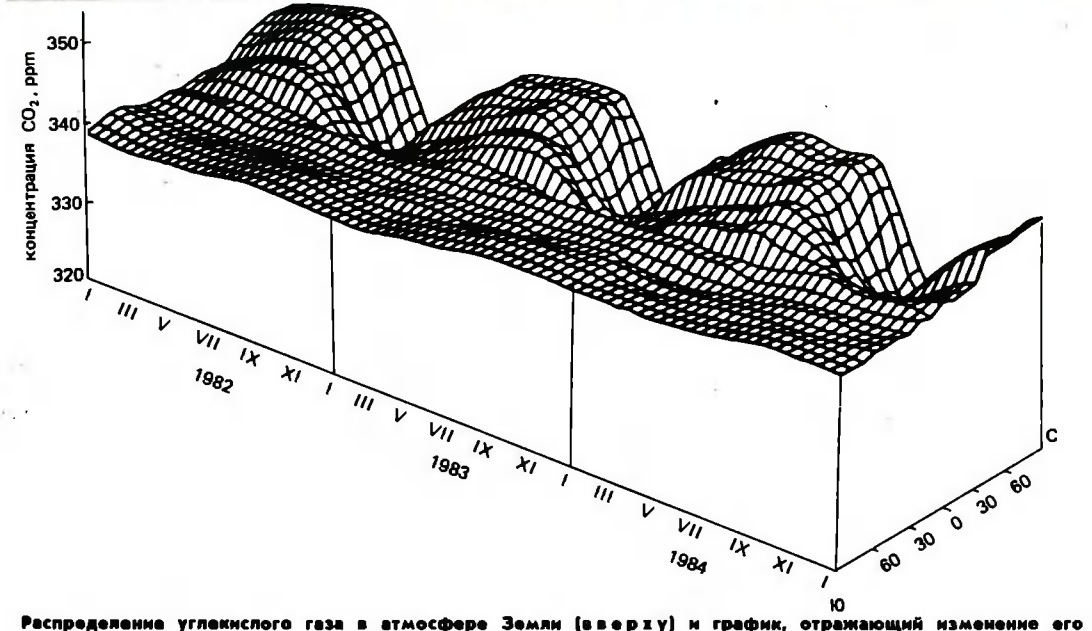
Георгий Александрович Заварзин, член-корреспондент АН СССР, заведующий лабораторией литотрофных организмов Института микробиологии АН СССР, визитирующий профессор Международного института прикладного системного анализа (Лаксенбург, Австрия). Основные научные труды посвящены физиологии микроорганизмов, участвующих в круговороте неорганических веществ, систематике необычных микроорганизмов, экологии бактерий и их влиянию на обмен газов. Автор монографии: Бактерии и состав атмосферы. М., 1984. Член редколлегии журнала «Природа».

[1] Кондратьев К. Я., Москаленко Н. И. Парниковый эффект атмосферы и климат. (Итоги науки и техники. Метеорология и климатология. Т. 12.) М., 1984.

[2] Кондратьев К. Я. Природные и антропогенные изменения климата. Л., 1986. С. 20, табл. 7.

[3] Clark W. C. Sustainable development of the biosphere: themes for a research program // Sustainable development of the biosphere. Cambridge, London, New York et set., 1986. P. 5—48.





Распределение углекислого газа в атмосфере Земли (вверху) и график, отражающий изменение его концентрации. Наибольшее количество углекислоты содержится над умеренными широтами Северного полушария, где суша преобладает над океаном. Следовательно, за колебания в концентрации углекислоты ответственны экосистемы суши, а не океана. Содержание углекислого газа зависит не только от географической широты, но и от времени года: количество этого газа минимально летом, когда он интенсивно поглощается при фотосинтезе, и максимально зимой. Зоны с одинаковой амплитудой колебания концентрации углекислоты на карте ограничены изолиниями, цифры на которых соответствуют концентрации, выраженной в объемных частях на миллион (ppm). (Карта дана по: Prentice K. et al. // T. Geophys. Res. 1983. Vol. 88. P. 1281—1294; график — по: Tucker. C. J. et al., 1986.)

причины изменения состава атмосферы, возможно, влекущего за собой изменение климата.

Концентрация газов в атмосфере отражает результат противоположно направленных процессов: поступления газов в атмосферу и их удаления из нее как за счет реакций в самой атмосфере, так и в результате взаимодействий с поверхностью Земли и Мирового океана. В свою очередь, поступление газов в атмосферу есть результат противоположно направленных биологических реакций, например поглощения углекислоты при фотосинтезе и ее выделения при дыхании.

ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ

Помимо основных компонентов — азота и кислорода — в атмосфере присутствуют: пары воды; так называемые микрогазы, концентрация которых измеряется в частях на миллион (ppm); летучие органические соединения; короткоживущие реакционноспособные продукты фотохимических реакций, прежде всего радикал $OH^{\cdot}$. Многие из атмосферных газов радиационно-активны, но только пары воды, углекислота, метан, озон, закись азота, галогенуглеводороды (фреоны) содержатся в концентрации, способной повлиять на радиационный баланс Земли и, тем самым, на ее климат[4].

Из перечисленных газов наиболее важны пары воды, так как за счет циркуляции в атмосфере они обеспечивают значительную часть радиационных эффектов. Пары воды поглощают бóльшую часть отраженной от поверхности Земли солнечной радиации в инфракрасной области спектра, однако оставляют «окно» для излучения с длиной волны от 8 до 18 мкм. В этом «окне» отраженное излучение в диапазоне 12—18 мкм поглощается углекислотой, метан и закись азота поглощают в коротковолновой, а озон и фреоны — в средней части «окна». Следовательно, увеличение концентрации этих газов усиливает парниковый эффект. Но если на роль углекислоты в атмосфере С. Аррениус обратил внимание еще 100 лет назад, то присутствие в ней других микрогазов было установлено лишь недавно, а их влияние на парниковый эффект выявилось при математическом моделировании атмосферных явлений. Сейчас считается, что в указанном диапазоне спектра углекислота отвечает примерно за половину парникового эффекта, метан — примерно за треть, остальное приходится на другие газы. Не следует забывать и о влиянии аэрозоля. Итак, в атмосфере действует сложная система процессов, связывающих ее состав с температурой. Биогенные парниковые газы составляют лишь часть этой системы, только о них и пойдет речь в статье.

Кислород в атмосфере относительно инертен, окислительные реакции осуществляются за счет продуктов фотохимических реакций — озона и радикала $OH^{\cdot}$. Стратосферный озон задерживает опасный избыток ультрафиолетового излучения и реагирует с галогенуглеводородами и инертной в тропосфере закисью азота, что в свою очередь может влиять на концентрацию стратосферного озона. В тропосфере озона всего 10 %.

Роль основного окислительного «чистильщика» в тропосфере выполняет радикал $OH^{\cdot}$, образующийся фотохимически из озона и паров воды в сложной системе реакций. Эти реакции инициируются некоторыми газами как природного, так и антропогенного происхождения. Хотя концентрация $OH^{\cdot}$ невелика (примерно $5 \cdot 10^5$ молекул в 1 $см^3$), именно этот радикал определяет окислительную способность атмосферы. Радикал $OH^{\cdot}$ реагирует с метаном и другими газообразными углеводородами, окисляя их до окиси, а затем и двуокиси углерода. Судя по измерениям, концентрация озона и радикала $OH^{\cdot}$ в тропосфере не уменьшается, в частности над Европой концентрация озона даже растет. Таким образом, нет оснований считать, что снижается окислительная способность атмосферы. Эта способность достаточно велика, чтобы обеспечить полное удаление из атмосферы, например, этана, как, впрочем, и других восстановленных газов, в экваториальных óбластях. Чем же объяснить увеличение концентрации парниковых газов в атмосфере?

Приходится допустить, что растет мощность их источников на поверхности Земли.

Сейчас источники парниковых газов известны. Галогенуглеводороды можно считать продуктами только антропогенного происхождения (очень небольшим количеством хлористого метила, который образуется в морской воде, можно пренебречь). Они стали поступать в атмосферу сравнительно недавно, концентрация их мала, но велик ее относительный прирост. Концен-

[4] Crutzen P. J., Graedel T. E. The role of atmospheric chemistry in environment development interactions // Ibid. P. 213—251.

трация озона меняется вслед за изменением баланса фотохимических реакций. Метан и закись азота образуются в результате жизнедеятельности бактерий, и лишь малая часть метана, судя по его изотопному составу, просачивается из газовых месторождений. Колебания в содержании углекислоты обусловлены грандиозным биосферным циклом углерода. Но этот цикл определен с недостаточной точностью[5].

По оценкам глобального цикла углерода, сделанным Министерством энергетики США в 1985 г., общая масса углерода в атмосфере составляет около 720 Гт, в фотическом слое океана — 630 Гт, в наземной биомассе — 560 Гт. Ежегодно океан поглощает 2,4 Гт углекислоты, т. е. 50 % от ее количества (5 Гт), образующегося при сжигании топлив[6]. Значит, существенным стоком углекислого газа должна быть наземная биомасса. Годовой цикл углерода (фотосинтез и дыхание) в ней равен 120 Гт, и из них половина (60 Гт) приходится на первичную продукцию. А это образовавшееся при фотосинтезе органическое вещество разлагают микроорганизмы. Как видно, ежегодно при разложении органического вещества углерода выделяется в 10 раз больше, чем при сжигании топлив. Образование органического вещества первичной продукции — это тоже результат циклического процесса, который слагается из дыхания растений и разложения их корневых выделений микроорганизмами. За счет последнего процесса выделяется до 60 % ассимилированного углерода. Следовательно, цикл «фотосинтез — дыхание почвы» в течение вегетационного периода очень интенсивен. Даже небольшие нарушения этого цикла могут сказаться на балансе углекислоты в атмосфере.

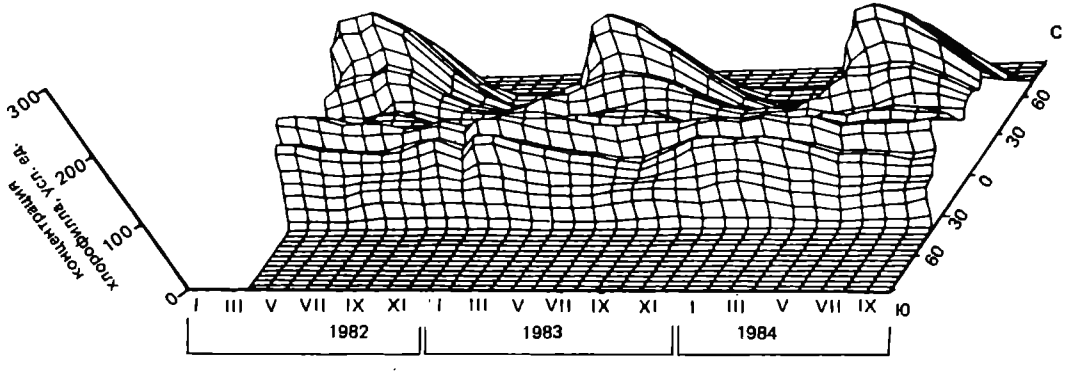
Общая тенденция роста содержания углекислоты в атмосфере установлена прямыми инструментальными измерениями не только на метеорологических станциях, но и в ледяных ловушках — колонках гренландского льда. Здесь же зарегистрировано и увеличение метана. Можно ли предположить, что в основе изменения концентрации этих биологических по происхождению радиационно-активных газов есть общая причина?

НАЗЕМНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ КАК ИСТОЧНИКИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

Если повышение концентрации парниковых газов связано с изменениями в естественных процессах, то каким экосистемам они могут быть свойственны: океану или суше, тропикам или умеренному поясу?

[5] Бютнер Э. К. Планетарный газообмен O_2 и CO_2. Л., 1986.

[6] Atmospheric carbon dioxide and the global carbon cycle. US Dept. Energy. 1985.



Временно́е и пространственное распределение хлорофилла — показателя интенсивности фотосинтеза на Земле (данные космического мониторинга). Наибольшее количество хлорофилла приходится на зону тропических лесов, а явно выраженные колебания соответствуют сезонности фотосинтеза в умеренном поясе. Если сравнить распределение углекислоты на предыдущем графике с распределением хлорофилла, выявляется, что минимальное содержание углекислоты в атмосфере умеренной зоны и максимальное количество хлорофилла, как и следовало ожидать, совпадают. Однако резкая асимметрия пиков концентрации хлорофилла на графике и широкий максимум распределения содержания углекислоты — свидетельство того, что фотосинтез в умеренных широтах Северного полушария и выделение углекислого газа не сбалансированы, существует постоянный источник этого газа на суше. (По: Tucker C. J. et al., 1986.)

Определить систему, ответственную за изменение газового режима атмосферы, можно по географическому распределению микрогазов. Океаны и континенты распределены на Земле неравномерно: в Северном полушарии суша занимает гораздо большее пространство, чем в Южном. В умеренном поясе, кроме того, чередуются сезоны. В широтном направлении скорость переноса газов в атмосфере гораздо больше, чем в меридиональном. Поэтому, определяя содержание газов в пробах воздуха на меридионально расположенных метеостанциях, можно получить глобальный меридиональный «профиль» распределения газов и, следовательно, определить широтный пояс, в котором находятся системы, продуцирующие газы.

Концентрация углекислоты в атмосфере меняется в зависимости от географической широты и времени года. На вегетационный период приходится минимальная, а на осенне-зимний — максимальная ее концентрация. Эти колебания очень резки в высоких широтах, здесь они достигают 20 объемных частей на миллион, но в сглаженном виде прослеживаются и на экваториальных Гавайях. Меридиональное распределение углекислоты указывает на умеренные широты Северного полушария как на возбудитель «газового пульса планеты». Вместе с тем эти данные подтверждают представление об океане как стоке для углекислоты.

Согласно результатам К. Такера с сотрудниками, сопоставивших распределение концентраций углекислоты по наземным наблюдениям с данными космического мониторинга хлорофилла, асимметричные максимумы в содержании хлорофилла, наиболее выраженные в умеренных широтах, совпадают с минимумами концентрации углекислоты[7]. Это надежно доказывает, что именно наземные системы умеренного пояса ответственны за колебания в содержании углекислого газа. Значит, в поисках его источника следует обратиться к бореальным лесам и тундре, а не к тропической области, где процессы так сбалансированы, что содержание углекислоты остается постоянно низким. Более того, учитывая медленный меридиональный перенос газов, можно признать, что в осенне-зимний период в умеренных широтах существует постоянный источник углекислоты. Изменения в летнем и зимнем потреблении топлива слишком малы, чтобы вызвать колебания ее концентрации. Источником углекислого газа, как показывает распределение его концентрации, может быть только биологическая деструкция органического вещества. Сколь бы ни было мало превышение концентрации над средним уровнем, оно указывает на источник, центры которого приходятся на Сибирь и территорию к северо-западу от американских Великих Озер.

Теперь обратимся к метану. Его распределение в атмосфере оказалось сходным с распределением углекислоты. Над умеренными широтами Северного полушария метана на 16 % больше, чем над Южным полушарием, причем зона самой высокой концентрации располагается к северу от 50° с. ш. Это свидетельствует, что продуцентами метана также являются наземные экосистемы Северного полушария. Сезонные колебания концентрации метана менее выражены по сравнению с колебаниями в содержании углекислоты, а максимальное количество метана приходится на весенний период. Низкое содержание метана в экваториальной области может быть обусловлено атмосферными фотохимическими реакциями, приводящими к образованию окиси углерода. Кстати, этот вторичный, атмосферный, источник окиси углерода равен по мощности наземному.

Судя по «меридиональному профилю» другого углеводородного газа — этана, его максимальная концентрация тоже приходится на Северное полушарие, а минимальная — на Южное[8]. Такое распределение объясняется продукцией этана в наземных экосистемах и фотохимическим разложением в тропиках. Сейчас установлено, что источником этана и метана служат переувлажненные почвы.

Время пребывания в тропосфере закиси азота слишком велико, чтобы по ней можно было определить область, где этот газ образуется.

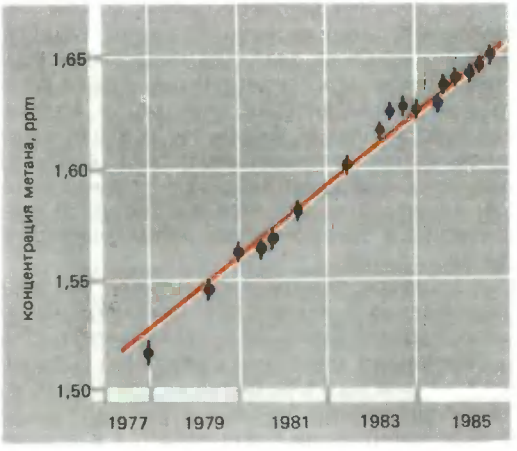
ОТ АТМОСФЕРЫ К ПОЧВЕ

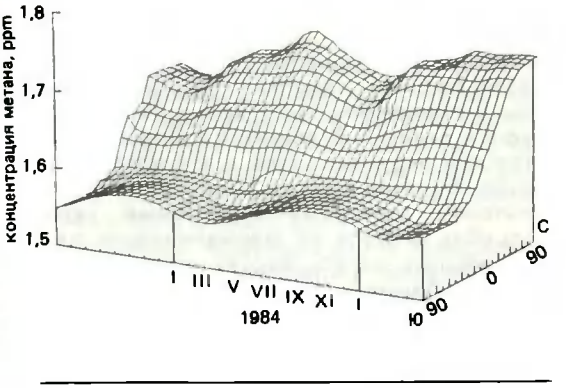
Растительный покров в течение вегетационного периода служит источником кислорода и стоком углекислого газа, причем на эту динамику накладывается суточный ритм цикла «кислород — углекислота».

Кроме кислорода и углекислоты рас-

[7] Tucker C. J., Fung I. Y. et al. // Nature. 1986. Vol. 319. P. 195—199.

[8] Blake D. R., Rowland F. S. // Ibid. Vol. 321. P. 231—233.





Рост концентрации метана (слева) и ее географическое распределение в тропосфере Земли. Концентрация метана растет год от года, причем наибольшее его количество выделяется в атмосферу умеренных широт Северного полушария в конце зимы — начале весны. Поскольку метан образуют только бактерии, деятельность их сообществ необходимо анализировать, чтобы определить, почему меняется состав атмосферы. Географическое распределение получено по усредненному содержанию метана в пробах воздуха, взятых на 17 станциях мониторинга от 76° с. ш. до 90° ю. ш. (Рост концентрации метана дан по: Blake D. R., Rowland F. S., 1986.)

тения выделяют множество органических веществ, в том числе терпенов, образуемых хвойными породами, и изопренов, которые вырабатываются лиственными породами. Выделяются также различные эфирные масла, этан и другие соединения. Общее число органических соединений, выделяемых растениями, приближается к ста, а масса их составляет примерно 1,5 Гт в год[9].

Эти соединения окисляются в тропосферном фотохимическом цикле. Но кроме фотохимического есть и биологический механизм удаления, открытый в 40-х годах академиком Н. Г. Холодным,— это воздушное питание микроорганизмов за счет летучих веществ, выделяемых растениями и почвой.

При фотохимическом окислении неметановые углеводороды превращаются в окись углерода. Как показал западногерманский исследователь В. Зейлер, при контакте с почвой содержание окиси углерода снижается до определенного уровня. Если же концентрация окиси углерода в воздухе ниже порогового уровня, почва выделяет ее. Аналогично ведет себя и водород, концентрация которого в атмосфере равна $0{,}5 \cdot 10^{-6}$ объемных частей. Существуют аэробные бактерии, способные окислять водород и окись углерода в почве. Это водородные бактерии, которых очень много, и открытая недавно небольшая группа карбоксидобактерий, окисляющих окись углерода. По поводу того, способны ли эти микроорганизмы окислять водород и окись углерода при низких концентрациях газов в атмосфере, мнения расходятся. Зейлéру и его коллегам, работавшим с чистыми культурами бактерий, такой способности обнаружить не удалось. Но в Институте микробиологии АН СССР было зафиксировано поглощение газов почвенными бактериями с помощью высокочувствительной аппаратуры. Таким образом, вопрос, способна ли почвенная микрофлора поглощать микрогазы из атмосферы, или же она только удерживает в почве те газы, которые там образуются, остается открытым. А в том, что в наземных экосистемах именно почва является источником микрогазов, сомневаться не приходится: бóльшая часть органического вещества, синтезированного растениями, разлагается именно в почве и именно микроорганизмами. На долю животных приходится заведомо менее 10 %.

Почва — это пористая система, ограниченная сверху аэротопом (слоем воздуха между поверхностью почвы и вершинами растений), а снизу грунтовыми водами, которые поднимаются по капиллярам и насыщают ее водяными парами. Кислород поступает в почву из аэротопа по так

[9] Исидоров В. А. Органическая химия атмосферы. Л., 1985.

называемым порам аэрации. Объем почвенного воздуха можно оценить величиной всего около 30 тыс. км^3, а его масса составляет лишь около $7 \cdot 10^{-6}$ от массы атмосферного воздуха. Почвенные поры различаются размерами и выполняют разные функции. Газовый обмен идет через макропоры размером более 60 мкм; в порах размером 30—60 мкм перемещается вода; поры менее 3 мкм, по-видимому, непригодны для развития микроорганизмов.

Пористая структура почвы формируется разными организмами. Почвенные животные и корни растений формируют систему макропор, образуя на поверхности войлок из корней. Микроорганизмы создают агрегаты, скрепляя их либо механически гифами грибов, либо склеивая их бактериальной слизью и продуктами обмена. Воздух и влага заполняют все пористое пространство почвы. Дыхание микроорганизмов быстро приводит к дефициту кислорода, если пористое пространство отделено от воздуха или пор аэрации водяными пробками, через которые диффузия кислорода замедлена.

В силу строения почв умеренной зоны — почв тундры, подзолистых почв и глеевых почв болот — почвенный слой, в котором необходимо рассмотреть обмен биогенных газов, ограничен снизу водоупорным слоем. В северных почвах им служит вечная мерзлота, в болотистых — глеевый слой, в подзолистых с их промывным режимом — иллювиальный уплотненный горизонт.

Итак, сверху почва покрыта подстилкой, где под действием грибов образуются органические кислоты, снизу — грунтовыми водами. Чтобы определить обмен газов в этом пространстве, необходимо знать влажность почвы, которая зависит от количества осадков, интенсивности орошения, степени затопления и, следовательно, является переменной величиной. При этом важно иметь в виду, что сильный дождь затапливает поверхность почвы и ограничивает доступ воздуха в нее. Поскольку сильные летние дожди создают анаэробные условия в почве, необходимо учитывать распределение осадков по сезонам.

Состав атмосферного и почвенного воздуха существенно различается: в почвенном воздухе углекислота перестает быть микропримесью, а составляет существенную часть его. В вегетационный период растения усиленно испаряют влагу, создают восходящий поток и улучшают аэрацию. При аэробных процессах деструкции органического вещества в почве суммарная концентрация кислорода и углекислоты близка к 20 %, но при анаэробном разложении появляется избыток углекислоты. Состав почвенного воздуха различается по зонам: в переувлажненных северных почвах много углекислоты, а в южных почвах ее меньше. Однако выделение углекислоты — так называемое «дыхание почвы» — гораздо интенсивнее в теплых южных почвах.

Почвенный воздух — это особая газовая среда обитания микроорганизмов, которая характеризуется нерегулярным и ограниченным поступлением кислорода с поверхности, миграцией биогенных газов и паров в пористом пространстве, сильным взаимодействием газов с минеральными частицами почвы и почвенной влагой. Последнее особенно важно для газов с высокой растворимостью. Такие газы, как углекислота и закись азота, растворяются в воде и могут мигрировать вместе с почвенной влагой. Сероводород, если он образуется, реагирует с минеральными компонентами почвы, давая в результате нерастворимые сульфиды. Процесс нисходящей миграции влаги и растворенных в ней соединений может приводить к формированию цементирующих прослоек в почве.

Таким образом, состав почвенного воздуха и строение почвы оказываются связанными с газообменом почвы и, соответственно, с составом атмосферы над ней.

ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ И МИКРООРГАНИЗМЫ

Состав почвенного воздуха обусловлен жизнедеятельностью населения почвы: подземных частей растений, животных, грибов, бактерий. В аэробных условиях за счет корневого дыхания растений выделяется 10—20 % ассимилированного углерода (в поле очень трудно оценить отдельно вклад, вносимый в это дыхание микоризой — симбиотическими грибами, окружающими корни). Суммарный вклад почвенных беспозвоночных еще меньше — не превышает 10 %, но сами животные имеют важное значение, так как одни, например дождевые черви, механически разрыхляют почву и растительные остатки, а другие — почвенные простейшие — выедают бактерий. В аэробном разложении органического вещества в наземных экосистемах наиболее важна роль грибов, способных гидролизовать любые растительные полимеры, включая лигнин одревеснев-

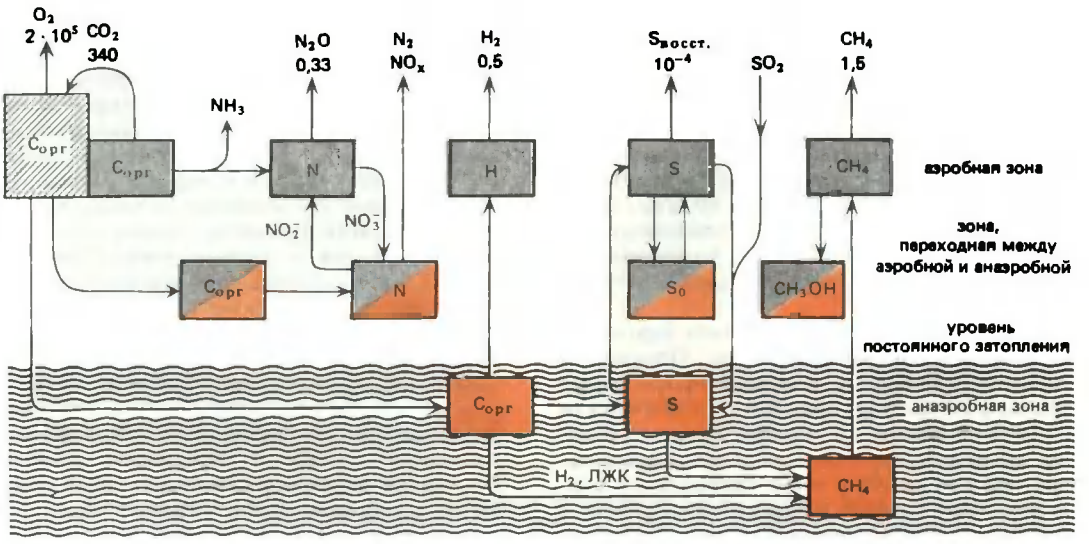


Схема микробиологических процессов в почве, приводящих к выделению из нее некоторых газов: углекислоты, закиси азота, азота и его высших окислов, водорода, восстановленных соединений серы, метана. Органическое вещество ($C_{орг}$), образовавшееся за счет фотосинтеза растений, разлагается во всех трех слоях почвы — анаэробной, переходной, аэробной — в процессе жизнедеятельности микрофлоры, свойственной каждой почвенной зоне, и превращается в различные газы, выделяемые почвой в атмосферу. В анаэробной зоне идут процессы восстановления; в переходной происходит либо окисление, либо восстановление, в зависимости от условий; в аэробной зоне окисляется как исходное органическое вещество, так и соединения, образованные бактериями переходной и анаэробной зон. В итоге, поток газов, поступающих в атмосферу,— это результат двух процессов: образования газов микроорганизмами анаэробной зоны и поглощения, т. е. окисления этих газов бактериями аэробной почвенной зоны. Нарушение условий жизнедеятельности аэробных микроорганизмов приводит к усиленному выбросу газов из почвы. Цифры соответствуют концентрациям газов в объемных частях на миллион. ЛЖК — летучие жирные кислоты.

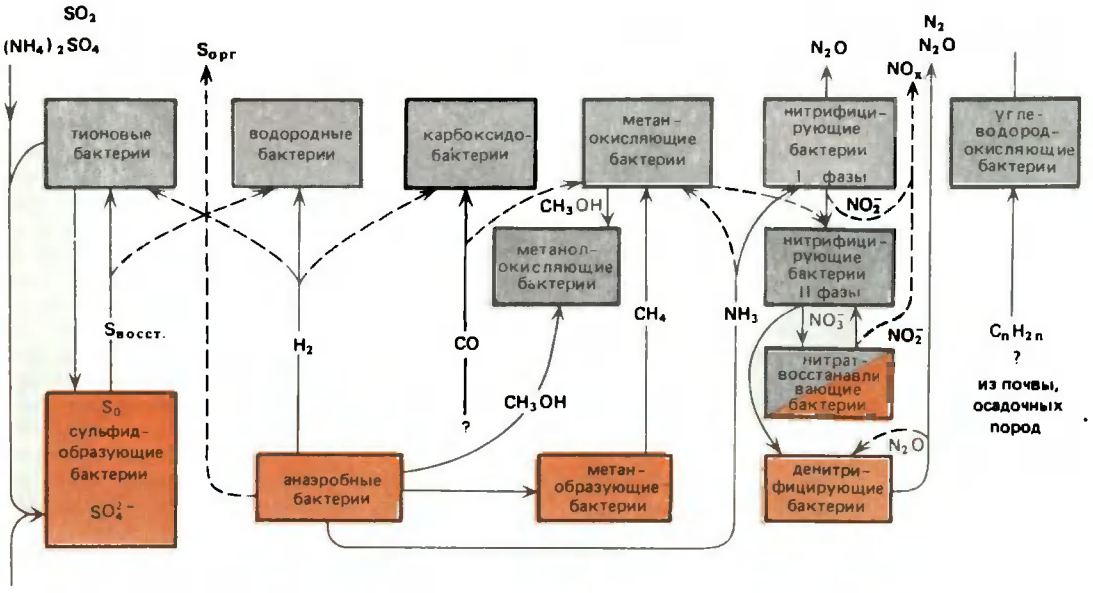
частей. Особенно много грибов в хвойных лесах умеренной зоны, подстилка которых разрушается преимущественно базидиальными грибами. Различные виды грибов образуют достаточно полную трофическую систему, чтобы и обеспечить разложение полимеров, и использовать продукты их распада, и, наконец, разложить грибной мицелий. Грибы продуцируют не только углекислоту, но и большое количество разнообразных летучих органических соединений, содержащих азот, серу, даже мышьяк. Летучие продукты обмена грибов легко поступают в атмосферу, растворимые (преимущественно органические кислоты) вымываются в нижележащие слои почвы.

Вклад грибов в образование углекислого газа в разных почвах различен: считается, что в естественных неперепаханных почвах за счет грибов образуется 1/2—2/3 углекислоты, выделяемой почвой. Однако эти организмы не образуют ни метана, ни закиси азота, которые важны для теплового баланса атмосферы. Следовательно, из четырех групп организмов состав парниковых газов могут обеспечить лишь бактерии.

Они так же, как грибы, способны разлагать большинство природных соединений (за исключением лигнина), но в отличие от грибов могут существовать не только в аэробных условиях, но и в анаэробных. А именно в анаэробных условиях образуются восстановленные газы, вызывающие парниковый эффект.

Бактерии образуют сложную трофическую систему, компоненты которой связаны друг с другом так, что одни организмы используют продукты обмена других[10]. При этом бактерии могут быть довольно узко специализированы в отношении числа используемых веществ, вплоть до потребления только одного соединения, например метана. От одной группы организмов к другой заметно быстрее переносятся летучие и газообразные соединения. Особенно наглядна трофическая система анаэробных организмов, где одни виды продуцируют органические кислоты и водород, а другие восстанавливают их

[10] Заварзин Г. А. Биогаз и малая энергетика // Природа, 1987. № 1. С. 66—79.



Окислительный «бактериальный фильтр» в почвенном горизонте. В сложном сообществе различные почвенные микроорганизмы взаимодействуют между собой благодаря трофическим связям. Нарушение условий существования одного звена неизбежно приводит к дисбалансу газового обмена в почве, в результате чего восстановленные биогенные газы могут поступить в атмосферу и стать там участниками фотохимических реакций.

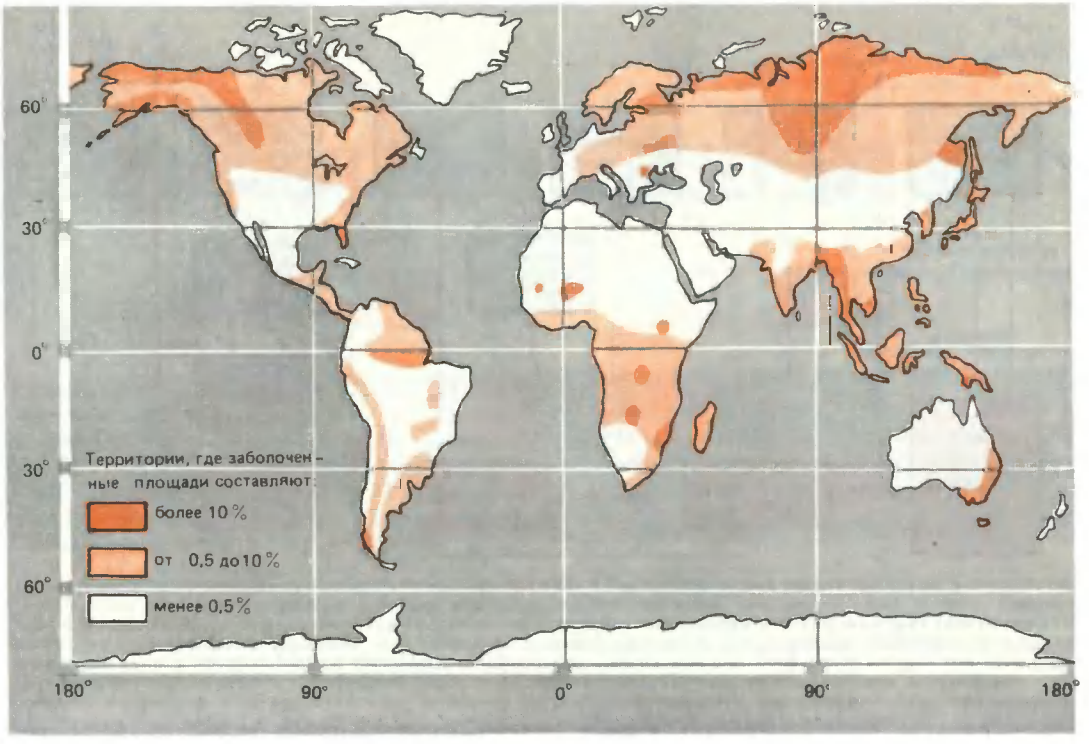
до метана. Кроме того, существуют трофические отношения между анаэробными генераторами восстановленных газов и аэробным «бактериальным фильтром» — бактериями, которые окисляют эти восстановленные продукты и тем не допускают их выхода в атмосферу. Таким образом, эмиссия газов в атмосферу есть результат взаимодействия анаэробных генераторов газов и аэробного «бактериального фильтра»[11].

В этой трофической системе образуется ряд циклов, или блоков, с характерными продуцентами и потребителями определенного газа. В углекислотном блоке растения поглощают при фотосинтезе углекислый газ из атмосферы, а гетеротрофные аэробные и анаэробные бактерии разлагают органические вещества и выделяют этот газ в атмосферу. При этом корневые выделения и легкогидролизуемые вещества разлагаются быстро, а растительные остатки — медленно. Быстрый оборот углекислоты во время вегетационного периода сопровождается медленным разложением опада. Эти процессы разнесены по времени года.

В почве условно можно выделить три зоны, в каждой из которых развиваются свойственные ей микроорганизмы. Вблизи пор аэрации создается аэробная зона; под ней — зона периодического анаэробиоза; а еще ниже, в постоянно увлажненном почвенном горизонте,— третья зона, анаэробная. В отличие от донных отложений, где такие зоны простираются строго по горизонту, в почве зональность носит мозаичный характер. В увлажненных почвенных агрегатах при достаточном количестве органического вещества аэробные бактерии полностью поглощают кислород и внутри создается анаэробная зона. Таким образом, в глубине почвы до той поры, пока она не промерзнет, может действовать анаэробная микрофлора, способная выделять парниковые газы в качестве продуктов обмена. Углекислота и метан как раз и являются конечными продуктами анаэробного разложения органических веществ.

При затоплении почвы органические соединения восстанавливаются в строго определенной последовательности, об-

[11] Заварзин Г. А. Бактерии и состав атмосферы. М., 1984.



Распределение заболоченных территорий. Территории, на которых более 10 % площади приходится на болота, находятся в Сибири, США и Канаде, т. е. в тех областях, над которыми метан и углекислота — важнейшие для теплового баланса Земли газы — содержатся в наибольшей концентрации. (По: Ecosystems of the world. Amsterdam, **1983.** Vol. **413. P. 94—101.**

условленной термодинамикой. Сначала восстанавливаются соединения с наиболее высоким окислительно-восстановительным потенциалом: $O_2 \rightarrow NO_3^- \rightarrow Mn(IV) \rightarrow$ $\rightarrow Fe(III) \rightarrow SO_4^{2-}$, и последним, дней через 10 после затопления, появляется метан. Анаэробные организмы, в число которых входят первичные анаэробные бактерии (факультативные и облигатные), производят водород и летучие продукты брожения — уксусную и масляную кислоты, этиловый спирт, ацетон. Эти соединения мигрируют в пористом пространстве почвы и достигают пор аэрации, где окисляются аэробными бактериями. Следовательно, мы вправе ожидать, что в почвенном пористом пространстве работает цикл, основанный на транспорте и окислении летучих органических соединений. Эти вещества могут попасть в атмосферу в том случае, если недостаточно время их пребывания в почвенных порах или слишком мала концентрация, чтобы аэробные организмы могли их использовать. Аэробное сообщество почвенных микроорганизмов является основным продуцентом углекислоты.

К факультативным анаэробным организмам относятся денитрификаторы. Они окисляют несбраживаемые органические вещества и восстанавливают нитрат, нитрит и закись азота в молекулярный азот. При переходе от аэробных к анаэробным условиям эти соединения образуются последовательно. Поэтому характерная черта денитрификации — выброс закиси азота через несколько десятков часов после дождя: именно к этому времени образуется последний в метаболической цепи фермент — редуктаза закиси азота. Поэтому временны́е «профили» выделения закиси азота представляют собой серию резких пиков. Закись азота сравнительно хорошо растворима, может мигрировать с почвенными водами и восстанавливаться до молекулярного азота в анаэробных условиях.

Однако главным источником закиси азота считается не денитрификация. Этот газ образуется в качестве побочного про-

дукта при окислении аммиака нитрифицирующими аэробными бактериями. Сам аммиак, образовавшийся при разложении продуктов обмена животных, поступает в атмосферу в небольшом количестве, но не остается в ней в свободном состоянии, а взаимодействует с серной кислотой. Закись азота, которая образуется в аэробной зоне почвы, быстро поступает в атмосферу и долгое время сохраняется в ней. Существует биологический аэробный процесс удаления закиси азота, но, повидимому, его мощность слишком мала. В неперепаханных почвах нитрификаторы не выдерживают конкуренции с растениями за усвоение связанного азота, но они активны в культивируемых почвах, где особенно обильны при применении азотных удобрений. Рост концентрации закиси азота в атмосфере связывают с избытком минеральных азотных удобрений, не усваиваемым растениями. Таким образом, закись азота может служить индикатором как расширяющегося применения азотных удобрений, так и переходного (от аэробного к анаэробному) режима в почвах, связанного с периодическим увлажнением.

Важный парниковый газ метан, с его характерным географическим распределением, образуется только в анаэробных условиях сообществом микроорганизмов, в котором метанобразующие бактерии замыкают всю цепь. Метановый цикл характерен для переувлажненных почв и поэтому долгое время моделью для его изучения служили рисовые поля. Более того, было сделано предположение, что продукция метана пропорциональна первичной продукции органического вещества, и, естественно, тропическая зона казалась наиболее мощным его поставщиком. Но, судя по географическому распределению метана в атмосфере, эти представления ошибочны. Действительно, метаногенез на рисовых полях и во влажных почвах тропиков идет с большой скоростью, но цикл метана состоит не только из его образования, но и его биологического потребления. Строго специализированные метанокисляющие бактерии окисляют метан кислородом воздуха и с большой эффективностью переводят его в биомассу. Эти бактерии в последние десятилетия были подробно исследованы после их повторного открытия Р. Виттенбари в 1970-х годах. По характерной морфологии при известном навыке их можно опознать под микроскопом. Еще легче распознать их характерных спутников — гифомикробов, окисляющих продукт неполного окисления метана — метиловый спирт. В водоемах метанокисляющие микроорганизмы полностью перехватывают метан, поднимающийся с глубин более 10 м, на рисовых полях метан окисляется в поверхностном увлажненном слое почвы толщиной в несколько сантиметров. Следовательно, южные высокопродуктивные системы мало влияют на содержание метана не потому, что его там мало образуется, а, вероятно, потому, что в этих почвах создаются условия для быстрого его окисления. Дело, таким образом, не в общей мощности процесса, а в его сбалансированности.

В подзолистых почвах и в почвах тундры советские исследователи Т. В. Аристовская и О. М. Паринкина обнаружили значительное количество гифомикробов. Кроме того, прямыми наблюдениями в стеклянных капиллярах установлены два максимума численности бактерий, причем один из них находится в глубине над водоупорным слоем. Предположение, что это могли быть анаэробные бактерии, трудно обосновать, потому что почвенные микробиологи пока не умеют работать с анаэробными неспоровыми бактериями.

Итак, метан может усиленно выделяться в атмосферу в условиях гумидного (переувлажненного) климата. Причины этого различны, но связаны с несбалансированностью микробных сообществ, которая может возникать, если в затопленных почвах создаются условия для бурного развития метанобразующих бактерий; если подавляется деятельность метанокисляющих бактерий; если метанокисляющие и метанобразующие бактерии работают асинхронно (например, деятельность метанокисляющих бактерий на поверхности уже подавлена холодами, а метанобразующие еще продолжают выделять метан в глубине).

Здесь сразу же приходится указать на недостаток сведений, который затрудняет оценку роли микроорганизмов. Во-первых, почти ничего не известно о психрофильных бактериях метанового цикла, которые развиваются при пониженных температурах. Микробиологи ведут все работы с бактериями, растущими при температурах, больших 20 °С. Психрофильные же остались неизученными, хотя Б. Свенн-сонн и нашел метанобразующие бактерии в почвах тундры, а недавний «меридиональный разрез» тундры Аляски выявил интенсивное образование метана при температуре 8 °С и ниже. Мощности этого процесса оказалось достаточно, чтобы приписать тундрам около 20 % общей продукции метана. Но тем не менее психрофиль-

ные микроорганизмы игнорируются микробиологами. Во-вторых, микробиологи уверенно судят о процессах, происходящих в нескольких кубических сантиметрах, но оценить мощность микробиологических процессов на нескольких гектарах — для них труднейшая задача, поскольку нет подходящих интегральных методов.

Изучение газовых потоков, идущих от поверхности почвы, и представляет такой наиболее обобщенный путь для познания жизнедеятельности живых существ в почве на огромных территориях.

ЗАБОЛАЧИВАНИЕ И БИОГЕННЫЕ ГАЗЫ

Итак, источником парниковых газов служат наземные экосистемы, а действующее начало в них — микробные сообщества, находящиеся в условиях избыточного увлажнения. И углекислота, и закись азота, и метан образуются микроорганизмами при увлажнении почвы, имеется четкая корреляция между дыханием почвы, ее температурой и увлажнением. Типичные для умеренных широт почвы тундры и бореальных лесов находятся в зоне избыточного увлажнения, где основная часть осадков выпадает летом. Области, над которыми выявлены максимальные концентрации углекислоты, метана, этана, имеют характерные почвы с высоким уровнем грунтовых вод. Эти почвы лежат на непроницаемых для воды слоях — либо слое вечной мерзлоты, либо аккумуляционных подстилающих горизонтах. Естественно, что здесь распространены болота и заболоченные почвы.

Общая площадь болот со слоем торфа более 40 см составляет на Земле около 150 млн га, из них в Западной Сибири 40 млн га. Преобладающая часть болот гумидной бореальной области образовалась за счет заболачивания лесов и суходолов[12]. Естественное заболачивание продолжается в течение нескольких тысячелетий, современный ежегодный прирост болотистых территорий в Сибири составляет около 10 тыс. га. Непосредственной причиной его служит избыточная свободная вода, за счет которой поднимается уровень грунтовых вод. Таким образом, формирование подзолистых и глеевых почв оказывается одним из проявлений того же биологического процесса, который ведет к увеличенному выделению парниковых газов.

До сих пор экологи придают большое значение вырубке тропических лесов. Однако в умеренной зоне вырубка лесов также интенсивна, и после нее в США и СССР ежегодно остается более 100 тыс. га неочищенных лесосек. В вегетационный период вырубка резко уменьшает транспирацию влаги и аэрацию верхнего слоя почвы, дыхание почвы на вырубке увеличивается в 100 раз. Все это ведет к переувлажнению и созданию благоприятных условий для развития анаэробного микробного сообщества. Именно бореальная зона оказывается связанной с повышенной продукцией парниковых газов вследствие несбалансированности биологических процессов.

Интенсивный фотосинтез в вегетационный период преобладает над образованием углекислоты и снижает ее содержание в высоких широтах. Летние дожди способствуют выбросам закиси азота. Обильное увлажнение и промывание почвы способствуют переносу органического вещества в глубокие слои. Первые же заморозки останавливают работу бактериального «окислительного фильтра», но генерация газов продолжается до тех пор, пока не промерзли глубокие слои почвы. Переувлажнение, не уравновешенное растительной транспирацией, сохраняет благоприятные условия для развития анаэробных процессов, с которыми связано образование метана.

Такова предполагаемая связь событий, обусловливающих своеобразное географическое распределение парниковых газов, влияние которых на климат признается столь существенным. Наземные экосистемы умеренных широт Северного полушария, где наиболее интенсивно развивается хозяйственная деятельность человека, оказываются чрезвычайно важными для газового режима планеты, который, в свою очередь, тесно связан с климатом.

Большинство парниковых газов имеет биологическое происхождение. Их содержание в атмосфере отражает изменения в состоянии экосистем. Концентрация парниковых газов в атмосфере распределена неравномерно как географически, так и во времени: содержание парниковых газов возрастает над умеренными широтами Северного полушария в период, когда не идет фотосинтез, значит, именно здесь расположены источники этих газов. Поскольку мак-

[12] Караваева Н. А. Заболачивание и эволюция почв. М., 1982.

симальная концентрация углекислоты, метана, этана обнаружена над зоной тундры и бореальных лесов, источником этих газов должны быть микробиологические процессы в подзолистых и глеевых почвах. Следовательно, причина изменения концентрации парниковых газов — усиление активности анаэробных микробных сообществ.

Почему до сих пор почвенному сообществу не уделялось достаточного внимания в рассматриваемом аспекте? Потому, что исследователей привлекали, в основном, удаление углекислоты в процессе фотосинтеза и роль растительного покрова. Динамике разложения органического вещества придавалось недостаточное значение, хотя по мощности этот процесс близок к фотосинтетическому. Кроме того, внимание было сосредоточено на средних глобальных оценках изменения концентрации газов, что не позволяло выявить конкретные системы, ответственные за такие изменения. И наконец, последняя причина — это разрыв между конкретно биологическим, особенно микробиологическим, подходом, ограниченным изучением бактерий в немногих кубических сантиметрах или дециметрах образца, и глобальной оценкой состояния всей атмосферы. Между тем оказывается, что, зная хотя бы баланс микробной деятельности в конкретном ландшафте, уже можно перейти к глобальным оценкам. Но, к сожалению, в микробиологии нет такого интегрального подхода. Кстати, биогенные газы, а при повышении чувствительности и биогенные органические вещества, являются носителями информации о биологических процессах, по которым можно дать общую оценку деятельности микробного сообщества.

Состав атмосферы наиболее обобщенно отражает изменения, происходящие на земном шаре. Ветры, способные переносить газовые примеси, не знают границ, и естественно, что химия атмосферы стала ареной международных исследований, а химия атмосферы тесно связана с климатом. Взаимосвязаны состав атмосферы, климат, биосфера, существуют многочисленные обратные связи, которые могут быть поняты лишь в междисциплинарных исследованиях. Происходящие изменения медленны, но их крайне необходимо учитывать при долгосрочном планировании человеческой деятельности. Очень важно понять истинные причины происходящих изменений и предсказать их возможный ход, чтобы прогнозировать экономическое развитие.

К ЧИТАТЕЛЯМ «ПРИРОДЫ»

Подписка на журнал «Природа» не ограничена и принимается во всех отделениях связи на любой срок с любого месяца.

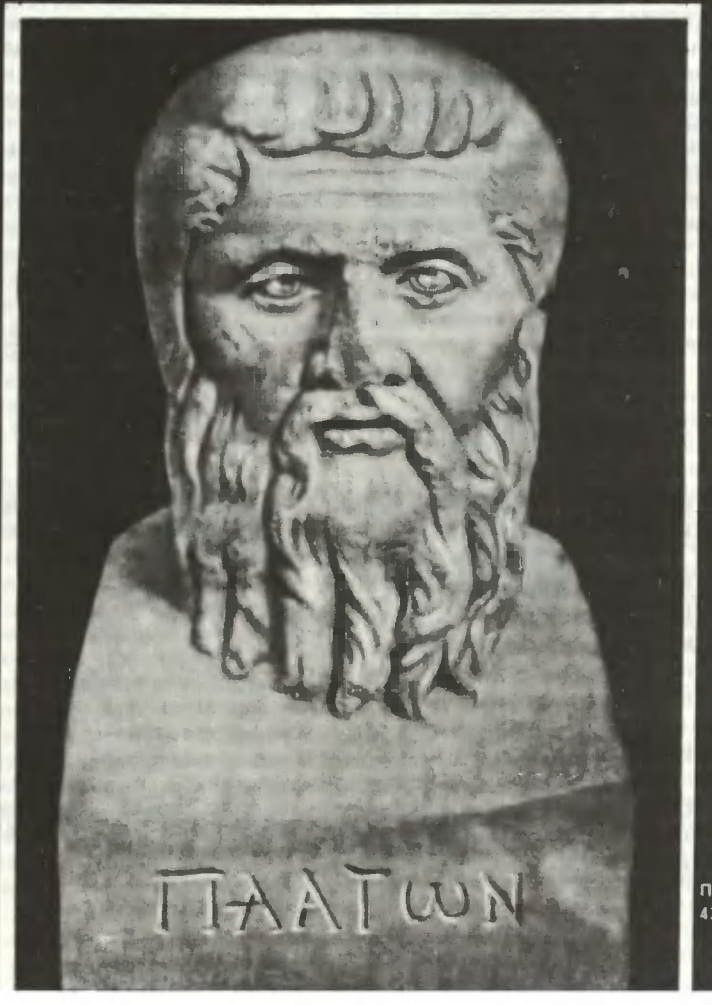
Цена одного номера — 80 к.
Подписная цена:
на год — 9 р. 60 к.,
на квартал — 2 р. 40 к.,
на полугодие — 4 р. 80 к.

Индекс 70707.

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

Д. В. ПАНЧЕНКО

ГИБЕЛЬ АТЛАНТИДЫ



Платон.
427 — ок. 347 г. до н.

«Но позднее, когда пришел срок для невиданных землетрясений и наводнений, за одни ужасные сутки... Атлантида исчезла, погрузившись в пучину». Так в платоновском «Тимее» описывается гибель Атлантиды[1]. Споры о правдивости этого рассказа начались уже в следующем за Платоном поколении и продолжаются по сей день.

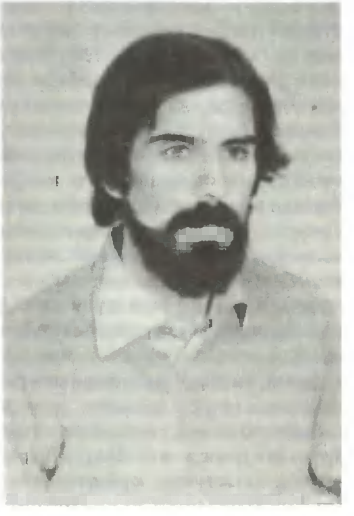
ПРИНЦИП ПРАВДОПОДОБИЯ

«То, что сказанное согласуется с природными явлениями, ясно для всякого, кто мало-мальски сведущ в естествознании». Так прокомментировал платоновские слова неоплатоник Прокл (410—485 гг.), составивший к «Тимею» обширнейший комментарий[2].

Сходным образом рассуждал об Атлантиде Посидоний (ок. 135—51 г. до н. э.) — видная фигура в эллинистической философии и науке. Его рассуждения сочувственно излагает Страбон: «У Посидония правильно сказано, что земля иногда поднимается и оседает, а также испытывает перемены от землетрясений и других подобных явлений... С этим он удачно сопоставляет сообщение Платона о том, что история об острове Атлантида, возможно, не является выдумкой... И Посидоний считает, что ставить вопрос таким образом разумнее, чем говорить об Атлантиде, что «создатель заставил ее исчезнуть, как Гомер — стену ахейцев»[3].

Современные сторонники достоверности платоновского сообщения осторожней в том, что касается естествознания: «исчезновение большого острова «в один день и одну ночь» — явление геологически невозможное»[4]. Но в сущности, они идут тем же путем правдоподобия. Их принцип таков: отсечем все, что представляется недостоверным, и останется подлинная картина. В результате остров, «по размерам превышавший Ливию и Азию, вместе взятые», приобрел более скромные размеры и, пропутешествовав по различным уголкам Мирового океана, нашел надежное пристанище в Эгеиде; временная дистанция, отделявшая Платона от описываемых событий, сократилась в десять раз, а сама катастрофа оказалась, таким образом, прочно связанной с извержением вулкана на острове Санторин в середине II тысячелетия до н. э.

Лучшим образцам такого рода построений нельзя отказать ни в изобретательности, ни в эрудиции. Но



Дмитрий Вадимович Панченко, кандидат исторических наук, младший научный сотрудник Ленинградского отделения Института истории АН СССР. Выпускник Ленинградского государственного университета им. А. А. Жданова. Специализируется в области истории античной общественной мысли и западноевропейской утопической традиции.

[1] Платон. Тимей // Соч.: В 3-х т. М., 1968—1972. Т. 3, ч. I. С. 466. Перевод С. С. Аверинцева.
[2] Proclus Diadochus. In Platonis Timaeum commentaria. Lipsiae. 1903. Vol. 1. P. 58.
[3] Страбон. География. М., 1964. С. 104 (II, 3, 6). Ср.: Гомер. Илиада. VII, 433—463; XII, 1—33.
[4] Галанопулос А. Г., Бэкон Э. Атлантида: за легендой — истина. М., 1983. С. 67.

что бы мы сказали о мистере Шерлоке Холмсе и его почтенных коллегах, если бы они довольствовались подобным методом? Что бы мы сказали о них, если бы они исходили из представления о том, что вымысел кончается там, где начинается сходство с жизнью, если бы все правдоподобное они принимали за чистую монету, не учитывая, что ложная версия может быть насыщена правдоподобными деталями? Метод вычленения правдоподобного рассматривает платоновский рассказ как механическую совокупность информации безотносительно к тому целому, в которое она организована,— так, будто перед нами не сочинение, написанное одним человеком, а сводка данных, полученных в различных лабораториях. Не улавливая в достаточной мере направленность авторской воли, упуская из виду то, что установка на правдоподобие, возможно, является одним из принципов, по которым строится данный текст, ученый при всей его учености остается пленником источника, тогда как суть профессионализма в историко-филологической области заключается в том, чтобы не идти на поводу у источника, а использовать его. Престиж точных наук может вскружить голову. «Атлантолог» гордится тем, что анализ производился им «по хорошо известному в точных науках и математике приему последовательного исключения»[5]. Но если такого рода методологические трансплантации — достижение, может быть, стоит порассуждать о мотивах броуновского движения или ценностных установках соединений углерода?

Произвольность «последовательного исключения» бросалась бы в глаза, если бы приверженцы этого метода не прибегали также к сопоставлению реконструируемого «подлинного» ядра с различными независимыми данными. Сходство в таком случае принимается ими за доказательство. Здесь к шаткости идентификации по выборочному сходству присоединяется другой коренной порок: метод правдоподобия устанавливает подобие правде, безотносительно к решению вопроса о наличии доподлинной исторической связи между «отображением» и «оригиналом».

Между тем критический анализ источника предполагает по крайней мере две процедуры: 1) определение его жанра, характера подачи материала в интересующем нас отношении (ведь мы по-разному отнесемся к содержанию шутливого или серьезного высказывания, художественного или научного текста); 2) выявление того, на чем основывается заключенная в нашем источнике информация.

ХАРАКТЕР ПЛАТОНОВСКОГО РАССКАЗА

Рассказ о том, как некогда государство афинян «положило предел дерзости несметных воинских сил, отправлявшихся на завоевание всей Европы и Азии, а путь державших от Атлантического моря»[6], о стране, устроенной Посейдоном и его потомками — царями Атлантиды, и о самом государстве афинян — этот рассказ излагается от лица Крития в двух связанных между собой диалогах — «Тимее» (предварительное сообщение) и «Критии» (который остался неоконченным). Критий, брат матери Платона, услышал этот рассказ от своего деда, который, в свою очередь, приходился племянником знаменитому законодателю и поэту Солону, «мудрейшему из семи мудрецов». К Солону, говорят нам, и восходит история Афин и Атлантиды; он же узнал ее в Египте от тамошних жрецов. Но соответствовало ли философским принципам и писательской манере Платона выдумать все это «семейное предание»? Всякий, кто изучал творчество Платона, ответит, что уж это-то не подлежит сомнению. В подтверждение своих слов он сошлется на «Государство», где Платон теоретически обосновывает оправданность «философских мифов», оказывающих воспитательное воздействие, и на многочисленные примеры таких или несколько иных «философских мифов» в различных его диалогах. Он скажет и об игровом начале у Платона и, в частности, вспомнит то место в «Федре», где молодой собеседник Сократа (а Сократ — главный участник платоновских диалогов) прямо говорит ему: «Ты, Сократ, легко сочиняешь египетские и какие тебе угодно сказания»[7].

Но что в нашем конкретном случае? Диалоги «Тимей» и «Критий» связаны не

[5] Жиров Н. Ф. Атлантида: основные проблемы атлантологии. М., 1964. С. 70.

[6] Платон. Тимей. С. 465.

[7] Платон. Федр. // Соч. Т. 2. С. 217. «Египетские» сказания обладали особым весом. Применительно к древнегреческой литературе существует особое понятие «египетского миража».

только между собой, оба они еще связаны с диалогом «Государство», в котором Платон устами Сократа разрабатывает идеальное общественное устройство. Платон не одобрял ни идеалы, ни практику афинской демократии. По натуре он был человеком социальной и политической активности (его поездки в Сицилию и участие в тамошних политических делах с несомненностью это доказывают). Однако ситуация в его родном городе не располагала к действию. Период четкой партийной конфронтации, пришедшийся на молодость Платона, остался позади. В 404—403 гг. до н. э. враги афинского демоса в течение восьми месяцев были у власти. Одной из первых фигур в этом правительстве, прозванном «тридцатью тиранами», был не кто иной, как наш Критий. Сколь бы глубокомысленными и серьезными ни были намерения Крития (Платон знал об этом больше нас), на деле его политика свелась к беззастенчивому террору. К такому правлению Платон примкнуть не пожелал.

Вышло так, что антидемократическое движение оказалось и разгромленным, и до крайней степени скомпрометированным. Победившая демократия, со своей стороны, проявила умеренность, объявив широкую амнистию. В силу ряда причин ее руководителями все чаще оказывались люди респектабельные, тогда как интерес афинян к общественным проблемам постепенно падал. Менялись жизненные ориентиры и ценности. Люди — по крайней мере, так казалось Платону — все меньше думали о прекрасном и добродетели и все больше о наживе и удовольствиях.

Неприятие демократии оставалось, но почва для политической конфронтации уходила из-под ног. Платон был не первым человеком, осознавшим конфликт с господствующими явлениями действительности, но вот его ответ жизненным обстоятельствам был оригинальным и притом имеющим великое будущее: усилиями мысли и воображения он стал последовательно разрабатывать альтернативную нормативную действительность — действительность идеала. Платоновский мир «идей» и социальная утопия «Государства» — два грандиозных плода этой мыслительной работы. Оказалось, что в обоих случаях ему было мало сформулировать принципы, на которых «зиждется» или зижделась бы идеальная действительность: ему нужно было вообразить, увидеть ее — хотя бы «мысленным взором» и разделить опыт своего видения с теми, кто готов стать его единомышленником. Вспоминая в начале «Тимея» рассуждения, прозвучавшие в «Государстве», Сократ говорит следующее: «Мне было бы приятно послушать описание того, как это государство ведет себя в борьбе с другими государствами, как оно достойным его образом вступает в войну, как в ходе войны его граждане совершают подвиги сообразно своему обучению и воспитанию, будь то на поле брани или в переговорах с каждым из других государств»[8]. Главный интерес Платона — интерес утописта. Ради этого интереса и выясняется вдруг, что древние Афины, как о них рассказали Солону египетские жрецы, «по какой-то случайности» чрезвычайно похожи на Сократово государство и что «истинный» рассказ о них отлично подойдет к поставленной Сократом задаче[9]. Перед нами образное развитие «философского мифа», мораль которого прозрачна: правильно устроенное государство сильнее несправедливого, сколь бы громадным и могущественным последнее ни было. Причем многие подробности в этом «философском мифе», в том числе связанные с описанием Атлантиды, ясно объясняются исходя из принципов платоновского философствования, и в других диалогах Платона можно подобрать к ним недвусмысленные параллели. Дело, правда, осложняется тем, что Платон все же последовательно настаивает на истинности сказания.

ОБРАБОТАННОЕ ПРЕДАНИЕ?

Что же, вынесем за скобки все то, в чем можно признать философскую конструкцию, оставим только те подробности, на которых не лежит печать какой-либо явной тенденции, и сопоставим их с независимыми историческими и геологическими фактами — вот мы и получили подлинное ядро! Не выходит. Мы опять, в духе метода правдоподобия, упустили вопрос об источниках информации. Скажем, от санторинского извержения Платона отделяет около тысячи лет. Сведения о подлинной катастрофе могли дойти до него лишь в составе какого-нибудь предания. Где оно? Никаких независимых от Платона свидетельств об острове Атлантида, лежащем за Геракловыми столпами, и его гибели мы не имеем. Но разве не рассказывает сам Пла-

[8] Платон. Тимей. С. 459.
[9] Там же. С. 467—468.

тон о передаче сказания от жрецов через Солона к Критию, к тому же весьма подробно? Вот именно! Настолько подробно, что возникают непримиримые противоречия. «Разоблачающим» оказывается утверждение Крития, что у него хранятся записи, сделанные Солоном, которые он прилежно прочитал еще ребенком[10]. Это утверждение, появляющееся во втором из связанных между собой диалогов, по ходу рассказа, специально, чтобы объяснить одну из его особенностей, находится в решительном противоречии с подробным изложением в «Тимее» обстоятельств знакомства Крития с преданием: он услышал его десятилетним мальчиком во время одного из общественных празднеств и теперь, много лет спустя, возбужденный речами Сократа об идеальном государстве, Критий у себя дома, ночью, стал вспоминать то, что слышал тогда, и вспомнил почти все, ибо, как известно, слышанное в детстве запоминается удивительно хорошо[11]. О записях здесь ни слова: совершенно ясно, что никаких записей эта версия не предполагает.

Итак, платоновская версия противоречива и недостоверна. Никакой другой нет, причем рассказ, прославляющий до небес Афины — ведущий культурный и важнейший политический центр Эллады, не мог затеряться, тем более что подлинность сообщений Платона стала дебатироваться уже в древности. Сама подача материала у Платона предполагает, что сказание, которое будет сейчас сообщено, не получило распространения. Следовательно, никакого предания об Афинах, борющихся с Атлантидой, не было. Следовательно, за стержневым элементом платоновского рассказа не может стоять какая бы то ни было историческая реальность. Но ведь и никакой Атлантиды вне сюжета борьбы с нею Афин не засвидетельствовано![12] Увы, невозможно провести нити от текста Платона к какимбы то ни было отдаленным историческим и геологическим событиям. Поэтому все сопоставления такого рода будут беспочвенными.

ОТГОЛОСКИ ДАЛЕКИХ СОБЫТИЙ?

Мы слишком привыкли к надежде на историчность Атлантиды, чтобы легко было с ней расстаться. В истории о стране и цивилизации, ушедшей под воду, есть нечто гипнотизирующее, и, уступив всем доводам критиков, мы все же хотим оставить хотя бы самую малость: пусть подробности сочинены Платоном, пусть не Атлантида, не такой большой и как-то иначе называвшийся остров, но, может быть, что-то все-таки было, какая-то великая катастрофа, отголоски которой через века неизвестным нам образом дошли до Платона... Так, очарованные уже «той», великой Атлантидой, мы, признавая подлинность ее хотя бы скромного подобия, в глубине души реабилитируем изначальную надежду. И опыт показывает, что стоит только исследователю ступить на этот соблазнительный путь, он тут же начинает лихорадочно перелистывать Платона в надежде найти какие-нибудь новые подтверждения. Между тем если взглянуть на вещи прозаически, то какие отголоски, позволяющие судить о «подлинной» Атлантиде, могли дойти до Платона? Среди мифологических преданий древних греков имеются и такие, в которых рассказывается о различных катастрофах — потопе, о морских волнах, затопивших берег, о земле, ушедшей из-под ног. Какие реалии за этим стоят? Народы передвигались, сюжеты кочевали. Местный это рассказ, или он пришел издалека? Надежная привязка к конкретному событию — явление исключительное. Платон, конечно, знал многие из такого рода сказаний. Некоторые, как миф о потопе, он прямо называет в «Тимее». Но ни в одном из них мы не встретим соединения мотивов, характерных для истории Атлантиды: мощная и высокоцивилизованная островная держава, погибшая в результате землетрясения и затопления. Опять не поможет излюбленная ссылка на неполноту сохранившихся сведений. Мы ждем от мифа скрытой исторической истины?— Но Крит, отождествляемый ныне с Атлантидой, никогда не погружался в пучину, следовательно, по той же логике, и мифа о его погружении не было. Надо сказать, что в подавляющем большинстве случаев, когда мы в ка-

[10] Платон. Критий // Соч. Т. 3. Ч. 1. С. 551—552.
[11] Платон. Тимей. С. 461—462, 467.
[12] Не должно вводить в заблуждение название сочинения Геланника Лесбосского «Атлантида» (или «Атлантиада»), которое имеет не географический, а генеалогический смысл. Оно было посвящено упорядочению преданий о потомках дочерей мифического Атланта. Соответственно, нет оснований видеть в сочинении Геланника рассказ о Крите, как это сделал Немировский А. И. в статье «Две Атлантиды» (Вопр. истории. 1978. № 3. С. 214—220), тем более что в мифологических преданиях греков нет никакой особой связи между фигурой Атланта и островом Крит.

ком-нибудь сказании нащупываем зерно исторической истины, мы тем самым узнаем новое о сказании, а не об исторических событиях. Вулканическая история Санторина в принципе может прокомментировать какие-нибудь детали каких-нибудь мифов, но как только кончаются данные археологии или геологии, эти мифы сами по себе не могут прибавить ничего надежного. Тому, кто думает иначе, придется, по словам Платона, «восстанавливать подлинный вид гиппокентавров, потом химер и нахлынет на него целая орава всяких горгон и пегасов и несметное скопище всяких других нелепых чудовищ»[13].

В качестве исторических источников, несущих дополнительную информацию, даже эти предполагаемые посредники между подлинными событиями и платоновским рассказом имеют минимальную ценность. Что же сказать о самом рассказе? Только не то, что «есть основания рассматривать рассказ Платона (разумеется, в «очищенном виде») как еще один источник по истории Греции таинственного II тысячелетия»[14]. Пока не установлен факт предания, связывающего диалоги «Тимей» и «Критий» с событиями II тысячелетия, никаких оснований для этого нет.

СТРАНА ПОСЕЙДОНА, УШЕДШАЯ ПОД ВОДУ

Можно понять людей, которых перед лицом очевидных, хотя бы и не очень точных, аналогий между платоновским рассказом и подлинными событиями не удовлетворяет отсылка к таинственным путям творческой фантазии. Нельзя сказать, что «довод от гениальности» является незаконным. Но он столь мало доступен проверке, что на деле приближается к «мы не знаем», а эта последняя констатация и служит интеллектуальным основанием для многообразных «похоже» и «напоминает». Что же, пора знать! Историко-филологические дисциплины отнюдь не беспомощны. Их методов достаточно, чтобы указать на обстоятельства, оказавшие на фантазию Платона решающее воздействие. Выясняется — и в этом есть какое-то «торжество справедливости»,— что за картиной уходящей под воду Атлантиды стоит-таки подлинное событие; правда, к «подлинной» Атлантиде оно отношения не имеет.

Платону не было нужды что-либо слышать о вулканической активности Санторина и ее последствиях. Балканы и Эгеида не так уж бедны стихийными бедствиями. Сам Платон иронизирует в «Тимее» над теми, кто знает только один — Девкалионов — потоп. Ясно также, что мерой для оценки влияния того или иного природного события на рассказ об Атлантиде должна быть не толщина отложений пепла, а впечатление, произведенное на сознание его автора. Платон был современником катастрофы, не столь масштабной, как та, что произошла в середине II тысячелетия до н. э., но зато, бесспорно, ему известной и вызвавшей широкий резонанс, в частности, в той самой среде, к которой он принадлежал.

Зимой 373 г. до н. э. в результате землетрясения ушел под воду стоявший на берегу Коринфского залива город ахейцев Гелика, знаменитый своим культом Посейдона[15]. До нас дошли описания катастрофы, восходящие к современникам событий. Наиболее обстоятельным является рассказ Диодора Сицилийского: при архонте Астее (373 г. до н. э.) «в Пелопоннесе произошли грандиозные землетрясения и невероятные затопления земли и городов: такого бедствия с греческими городами прежде никогда не случалось... Разразилось бедствие ночью. Сила землетрясения была такова, что дома были сплошь разрушены, а люди как вследствие темноты, так и вследствие неожиданности и невероятности обстоятельств не имели возможности искать спасения. Большинство погибло под развалинами домов. Когда занялся день, немногие уцелевшие выбрались из домов и, полагая, что они избежали опасности, столкнулись с бóльшим и более невероятным несчастием: море сильно разбушевалось, поднялась высокая волна — и все они были затоплены, исчезнув вместе с отечеством. А случилось это бедствие с двумя городами Ахайи — Геликой и Бурой, из которых Гелика до землетрясения была самым значительным из всех городов Ахайи»[16].

[13] Платон. Федр. С. 162.
[14] Кошеленко Г. А. Еще одна Атлантида // Галанопулос А. Г., Бэкон Э. Атлантида... С. 177—178.

[15] Расстояние от Гелики до Афин измеряется днями пути пешехода — около 170 км.
[16] Diodorus Siculus. Bibliotheca historica. XV, 48. Далее обсуждаются причины катастрофы, причем естественнонаучным объяснениям Диодор предпочитает поучительную историю о гневе Посейдона. На русском языке см.: Диодор Сицилийский. Историческая библиотека. Пер. Ив. Алексеева. Спб,

Диодор был современником Цезаря и Августа, но его «Историческая библиотека» носила компилятивный характер. Исследователями, в частности, давно установлено, что основным, а иногда единственным источником Диодора для интересующих нас региона и времени был исторический труд Эфора, писавшийся в середине IV в. до н. э. Что Эфор действительно писал о катастрофе, произошедшей в Ахайе, подтверждает цитата из его сочинения в «Вопросах естествознания» Сенеки. На основании Диодора и Сенеки мы можем утверждать, что Эфор сопроводил свое сообщение обстоятельным изложением различных точек зрения на причины явления. Следует добавить, что Эфор много времени провел среди афинских интеллектуалов, будучи учеником знаменитого оратора Исократа. Таким образом, его рассказ отражает и интерес, который возбудила катастрофа в том кругу, к которому принадлежал Платон, и то, как там представляли случившееся.

Рассказ другого современника событий — Гераклида Понтийского излагает Страбон: «Катастрофа произошла ночью; и хотя город отстоял от моря на 12 стадий (свыше 2 км), вся эта местность вместе с городом была покрыта волнами; и 2000 человек, посланные ахейцами, не могли подобрать трупов»[17]. Гераклид — уже непосредственно представитель платоновской Академии.

Большое место землетрясению в Ахайе уделил Аристотель в своей «Метеорологике»[18]. Писал о ней и его племянник Каллисфен. В следующем столетии Эратосфен, великий географ древности, приезжает сюда осмотреть место и выслушать интригующие рассказы моряков. Насколько событие стало знаменитым, можно судить по многочисленным откликам, разбросанным по греческой и римской литературе. Приведем только яркие стихи Овидия:

Если Гелику искать и Буру, ахейские грады, —
Их ты найдешь под водой; моряки и сегодня покажут
Мертвые те города с погруженными в воду стенами[19].

О впечатлении, произведенном на Платона гибелью Гелики, мы можем заключить не только на основании того интереса, который обнаруживают к ней его ученики, Гераклид и Аристотель. В поздней платоновской философии большую роль играет представление о происходящих время от времени катастрофах. Оно выражено не только в «Тимее» в связи с Атлантидой, но и в «Политике», и в книге III «Законов». Все эти сочинения по совершенно независимым от нашего вопроса основаниям датируются временем после 373 г. до н. э. До событий в Ахайе какого-либо интереса к катастрофам в творчестве Платона не наблюдается[20].

В чем, согласно Эфору, заключалось бедствие, «какого прежде никогда не случалось с греческими городами»? — В «грандиозных землетрясениях и невероятных затоплениях». Что погубило Атлантиду? — «Невиданные землетрясения и затопления». Гибель Атлантиды, гигантского острова, была скоротечной, — в течение «одного дня и одной ночи»[21]; в течение одной ночи и дня погибла Гелика.

Платону изменил бы вкус, если бы он стал ссылаться на факт недавней катастрофы в Ахайе: «правдивое» сказание не нуждается в доказательствах! Эту апелляцию к опыту он оставляет в подтексте, провоцируя ее в аудитории. Вместо того чтобы заподозрить в истории Атлантиды конструкцию по образцу истории Гелики, читатель (или слушатель), наоборот, сначала смутно ощущает, а потом, при желании, отчетливо сознает, что в его памяти присутствует знание, которое подтверждает правдоподобность рассказа. Он много раз слышал различные сказания о катастрофах, причем его только что навели на мысль, что, хотя такие сказания имеют «облик мифа», в них «содержится и правда»[22]. И, наконец, недавние события в Ахайе — казалось бы, тоже невероятные, но доподлинно случившиеся!

1775. Ч. 4. С. 233—236. Сходное бедствие меньшего масштаба постигло эту область Греции в 1861 г. Что касается Буры, то этот город, дальше отстоявший от берега, был только разрушен, но более впечатляющая версия, как это обычно бывает, широко распространилась и со временем укоренилась в античной традиции.

[17] Страбон. География. С. 366 (VIII, 7, 2).

[18] См.: Аристотель. Соч. Т. 3. М., 1981. С. 453—454, 502, 506.

[19] Овидий. Метаморфозы. М., 1977. С. 370.

[20] Платон, рассуждая о катастрофах, наряду с затоплениями говорит также о «великих пожарах», вызванных тем, что «тела, вращающиеся по небосводу вокруг Земли, отклоняются от своих путей» (Платон. Тимей. С. 463). Заметим в этой связи, что современники связывали землетрясение в Ахайе с появлением кометы.

[21] В переводе С. С. Аверинцева в соответствии с литературными задачами — «одни сутки».

[22] Платон. Тимей. С. 463.

Возможно, кто-нибудь подумает, что такие литературные изыски уместно предполагать для современного, но не античного писателя. Однако Платон-писатель — не менее удивительное явление, чем Платон-философ. Только один пример. Рассуждениям «Тимея» предшествует небольшая экспозиция. «Один, два, три,— считает Сократ, оглядывая собравшихся, — а где же четвертый из тех, кто вчера были нашими гостями, любезный Тимей, а сегодня взялись нам устраивать трапезу?»[23] Трое — это Тимей, Критий и Гермократ. Кто же четвертый?... Это так и не сказано. Платон предпочел разбудить воображение, нежели внести ясность.

Не приходится говорить о том, насколько Платону удалось укоренить свой рассказ в сознании аудитории — древней и новой. Скажем только об интересующей нас коллизии. Аристотель приводил единственный пример землетрясения, связанного с затоплением, — погружение Гелики. Знания накапливались, а с другой стороны, ученые поздней античности любили длинные перечни каких-либо имен или явлений. Гелика и Атлантида в таких подборах упоминаются на равных (у Страбона и Плиния все же с оговорками для последней), иногда — «через запятую». Комментарий Прокла к «Тимею» завершает круг: именно Аристотелево объяснение характера и причин землетрясения в Ахайе, именно гибель Гелики служит Проклу основанием защитить платоновский рассказ «с естественнонаучной точки зрения»!

Уже древним бросалось в глаза сходство обстоятельств гибели Гелики и Атлантиды. Казалось бы, такая подсказка для ученых! А что на деле? В самой влиятельной в последние годы книге ирландского ученого Дж. В. Люса «Конец Атлантиды»[24] — о Гелике ни слова. В переведенной у нас работе А. Г. Галанопулоса и Э. Бэкона землетрясение в Ахайе мельком упоминается[25], но вне какой-либо связи с платоновским рассказом. Наконец, в совсем недавней книге А. М. Кондратова «Атлантиды моря Тетис»[26], где также очень много геологии, о главном для истории Атлантиды геологическом событии вновь ничего не сказано. Нам удалось установить, что в 1928 г. о гибели Гелики как о событии, повлиявшем на Платона, писал в статье «Платоновская Атлантида» Ганс Хертер[27]. Правда, у Хертера имеется ряд упущений, в частности он не привлек к рассмотрению текст Диодора, не поинтересовался, с какого времени в творчестве Платона проявляется внимание к катастрофам. Возможно, поэтому значение сделанных им наблюдений было недооценено, а сами они не стали общим достоянием. Возможно, теперь произойдет по-иному.

Перестанут ли в таком случае искать Атлантиду? Едва ли. И теперь мы можем лучше понять — почему. Платон — воспользуемся его излюбленным словом — подражал тому, что действительно бывает в жизни, и притом тому, что с особой силой захватывает воображение; поэтому не исчезнет ни желание искать Атлантиду, ни возможность методом правдоподобия ее еще раз найти. Но здесь мы вступаем в область другого исследования: как пишутся книги, тысячелетиями будоражащие умы? Задача, по-своему, не менее увлекательная, чем поиски Атлантиды.

[23] Там же. С. 457.
[24] Luce J. V. Lost Atlantis. New light on an old legend. N. Y., 1969.
[25] Галанопулос А. Г., Бэкон Э. Атлантида... С. 68.
[26] Кондратов А. М. Атлантиды моря Тетис. Л., 1986.
[27] Hertes H. Platons Atlantis // Bonnes Jahrbücher. 1928. Heft 133. S. 28—47.

КАРТИНА ПРИРОДЫ В СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКЕ

В. Гейзенберг

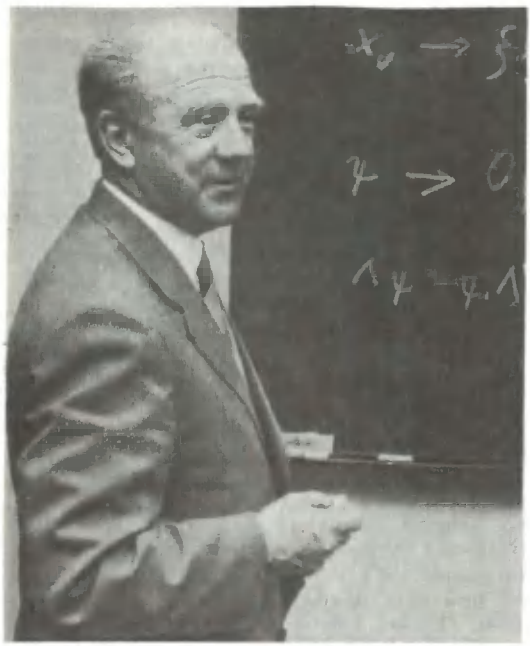
В основу публикуемой ниже статьи Гейзенберга положен доклад, прочитанный им 17 ноября 1953 г. в Мюнхенской высшей политехнической школе в рамках устроенных Баварской академией изящных искусств чтений на тему «Искусство в техническую эпоху». В 1955 г. западногерманское издательство «Ровольт» в серии энциклопедических монографий опубликовало книгу Гейзенберга под тем же названием, что и предлагаемая статья. Помимо заглавной работы, в книгу вошли две другие статьи Гейзенберга: «Исследования атома и закон причинности» и «О взаимоотношениях гуманитарного образования, естественных наук и западной цивилизации»,— а также подбор текстов из основополагающих трудов И. Кеплера, Г. Галилея, И. Ньютона, Х. Гюйгенса и других классиков физики. Предлагаемый вниманию читателя перевод выполнен по расширенной версии доклада, включенной в сборник «Шаги за горизонт», в числе прочих он входит в собрание статей Гейзенберга, готовящееся в настоящее время к выпуску издательством «Прогресс».

Проблемы современного искусства, которые в наши дни вновь и вновь вызывают страстные споры, заставляют задуматься о коренных предпосылках развития искусства вообще, считавшихся до сих пор самоочевидными. В этой связи был выдвинут и следующий вопрос: не может ли само отношение современного человека к природе столь принципиально отличаться от отношения к природе в прежние эпохи, что в силу одного только этого и точка зрения изобразительного искусства оказывается совершенно иной. В отличие от прежних времен современное отношение к природе вряд ли находит себе выражение в развернутой натурфилософии, теперь оно, несомненно, глубоко определяется новой наукой и техникой. Вот почему здесь уместно задаться вопросом, какая же картина природы свойственна современному естествознанию, в особенности же — физике.

Разумеется, с самого начала надо оговориться: вряд ли есть какое-нибудь основание полагать, что современная естественнонаучная картина мира как-то непосредственно повлияла на развитие современного искусства и что она вообще могла бы оказать такое влияние. Скорее можно допустить, что изменения, затронувшие основы современного естествознания, суть симптомы глубинных изменений в самых основах нашего существования, а эти изменения, конечно же, сказываются и во всех других сферах жизни. С этой точки зрения вопрос о том, как изменилась за последние десятилетия картина природы в естественных науках, может быть важен и для художника.

Обратимся сперва к историческим корням естествознания Нового времени. В XVII в., когда И. Кеплер, Г. Галилей и И. Ньютон закладывали его основы, еще господствовал средневековый образ природы, в котором природа виделась прежде всего как творение Божие. Природа мыслилась как созданное Богом произведение; исследовать материальный мир как независимый от Бога показалось бы нелепым человеку той эпохи. Приведу в качестве свидетельства того времени слова, которыми Кеплер заключает последний том своей «Космической гармонии»: «Благодарю Тебя, Господи, Создатель наш, за то, что Ты дал мне зреть красоту Твоего создания и ликовать при виде дел рук Твоих. Вот, я закончил труд, к которому чувствовал себя призванным, я приумножил талант, который Ты дал мне; все, что ограниченные силы моего ума позволили мне по-

* Heisenberg W. Das Naturbild der heutigen Physik // Schritte über Grenzen. München, 1971. S. 109—128.



Вернер Гейзенберг.
5.XII 1901—1.II 1976. Фото 1958 г.

нять в величии дел Твоих, я возвестил людям, которые прочтут мои доказательства и рассуждения»[1].

Но на протяжении всего лишь нескольких десятилетий отношение человека к природе принципиально изменилось. По мере того как исследователь входил в детальное рассмотрение природных процессов, он убеждался, что в самом деле можно идти путем, начало которому положил Галилей, а именно: изолировать отдельные процессы из их естественных связей, описать их математически и тем самым «объяснить». Правда, ему при этом открывалась и вся безграничность задачи, встающей перед зарождающимся естествознанием. Уже Ньютону мир не представлялся просто творением Божиим, которое надо понимать лишь в целом. Отношение Ньютона к природе яснее всего описывается известными словами о том, что он чувствует себя ребенком, играющим на берегу океана и радующимся, если ему удается там и сям найти то гладкую гальку, то красивую ракушку, тогда как перед ним лежит неизведанным великий океан истины. Такое изменение в отношении исследователя к природе станет, может быть, понятнее, если мы заметим, что для христианской мысли той эпохи Бог удалился от Земли высоко на небеса, и стало казаться осмысленным рассматривать Землю также и независимо от Бога. В этой связи по поводу науки Нового времени правомерно было бы даже говорить о специфически христианской форме обезбоженности, а тем самым и яснее понять, почему в других культурах не происходят подобные процессы. Не случайно поэтому, что именно в это время предметом отображения в изобразительном искусстве становится природа сама по себе, вне связи с религиозной тематикой. Естественнонаучному духу вполне отвечает также и тенденция рассматривать природу независимо не только от Бога, но и от человека. В результате формируется идеал «объективного» описания или объяснения природы. Тем не менее следует все же заметить, что и для Ньютона ракушка важна потому, что она порождена великим океаном истины, рассматривание — не самоцель, изучение ее обретает смысл лишь в связи с целью.

С течением времени метод ньютоновской механики стал успешно применяться в исследовании все новых и новых областей природы. В соответствии с этим методом сначала с помощью экспериментов пытались вычленить в чистом виде отдельные стороны естественного процесса, сделать их объективно наблюдаемыми и понять управляющие ими закономерности; затем стремились математически сформулировать взаимосвязи этих процессов и таким образом прийти к «законам», имеющим неограниченную силу во всем космосе.

Действуя таким методом, можно было, наконец, использовать силы природы и подчинить их нашим целям в технике. Грандиозные успехи механики в XVIII в., оптики, теплотехники и термодинамики в начале XIX в. свидетельствуют о могуществе такого подхода.

По мере успехов нового естествознания оно выходило за рамки повседневного опыта и распространялось на отдаленные сферы природы, которые могли быть открыты только с помощью технических средств, развивавшихся вместе с ростом науки. И в этом отношении решающий шаг был сделан Ньютоном, который показал, что те же самые законы механики, которым подчиняется падение камня, определяют и движение Луны вокруг Земли, иными словами, что эти законы можно применять и в космическом измерении. Впоследствии естествознание в сво-

[1] Kepler J. Harmonicus Mundi //Gesammelte Werke. Bd. VI. München, 1940.

ем победном шествии широким фронтом двинулось на завоевание тех сфер природы, сведения о которых мы можем получать лишь косвенно, лишь с помощью специальной техники, т. е. более или менее сложной аппаратуры. С помощью усовершенствованного телескопа астрономия овладела все более далекими пространствами Вселенной; химия, изучая поведение веществ в химических превращениях, пыталась выяснить процессы, идущие на уровне атомов; эксперименты с индуктивностью и вольтовой батареей позволили получить первое представление об электрических явлениях, еще неведомых повседневной жизни того времени. В результате значение слова «природа» как предмета естественнонаучного исследования постепенно изменялось. Оно становилось неким собирательным понятием, охватывающим все сферы человеческого опыта, в которые можно проникнуть с помощью естественнонаучных методов и соответствующей техники исследования, независимо от того, даны ли они как «природа» в непосредственном опыте человека.

Соответственно и слово «описание» природы все более и более теряло свой первоначальный смысл — такого изображения, которое должно было давать возможно более живую и яркую картину природы; под ним большей частью стали понимать математическое описание природы, т. е. максимально точную, краткую и вместе с тем всеобъемлющую сводку информации о природных закономерностях.

В том расширении, которому по ходу дела — не вполне осознанно — подверглось понятие природы, не нужно видеть принципиального отступления от коренных целей естествознания; и для этой, более широкой сферы опыта оставались значимы те же фундаментальные понятия, что и для опыта непосредственного. В XIX столетии природа виделась как закономерный ход событий в пространстве и времени, при описании которой можно было, если не практически, то, во всяком случае, теоретически отвлечься от человека и его вмешательства в природу.

Пребывающей в изменчивости явлений считали материю, неизменную по массе и способную двигаться под действием сил. В связи с тем, что химические исследования, ведущиеся с начала XVIII в., успешно систематизировали и по-новому истолковали заимствованную от древних атомистическую гипотезу, легко было предположить в духе античной натурфилософии, что атомы представляют собой подлинно сущее, неизменные составные части материи. Существенные качества материи тем самым оказывались, как и в философии Демокрита, видимостью; запах или цвет, температура или вязкость — не подлинные свойства материи, а результат взаимодействия материи с нашими органами чувств и потому должны быть объяснены известным расположением атомов, их движением и воздействием на наши чувства. Так возникла весьма упрощенная картина мира, свойственная материализму XIX в.; в пространстве и времени движутся атомы — неизменно сущее в собственном смысле слова, а вся пестрота явлений чувственного мира порождается их взаимным расположением и движением.

Первая, хотя еще и не очень опасная трещина в этой картине мира возникла во второй половине XIX в., в процессе развития теории электричества. Подлинной реальностью в этой теории необходимо было признать некое поле силы, а не материю. Понять взаимодействие силовых полей, не привлекая идею субстанции как носителя этих сил, было уже труднее, чем представить себе реальность в материалистической атомной физике. В картину мира, казавшуюся до сих пор столь ясной, привносился элемент абстрактности, ее наглядность исчезала. Поэтому делалось довольно много попыток обойти эту трудность и вернуться к простому, привычному для материалистической философии понятию материи путем введения представления о материальном эфире, упругие напряжения которого должны были соответствовать силовым полям. Но эти попытки по существу не имели успеха. Впрочем, можно было утешаться тем, что само изменение силового поля допустимо рассматривать в качестве процесса в пространстве и времени, т. е. вполне объективно, вне зависимости от способа его наблюдения, удовлетворяя тем самым общепринятой идеальной картине закономерного хода событий в пространстве и времени. Поскольку, далее, поля были доступны наблюдению только при взаимодействии с атомами, можно было считать, что они создаются атомами, и прибегать к ним только для объяснения движения атомов. В результате же подлинно сущим опять-таки оказывались атомы и пустое пространство между ними, которое обретало своего рода реальность как носитель полей и геометрии.

Равным образом для этой картины мира не имело большого значения, что

после открытия радиоактивности в конце прошлого века химические атомы уже нельзя было считать последними составными частями материи, что они в свою очередь оказались состоящими из трех видов более элементарных частиц, называемых теперь протонами, нейтронами и электронами. Это открытие приобрело колоссальную важность, поскольку на практике из него следовала возможность превращения элементов и атомной техники. Что же касается принципиальных проблем, то от того, что мы признали протоны, нейтроны и электроны мельчайшими составными частями материи и стали считать их подлинно сущим, ничего не изменилось. Для материалистической картины мира существенна только возможность рассматривать эти мельчайшие составные части, элементарные частицы как последнюю объективную реальность. Таково основание, на котором покоится хорошо слаженная картина мира XIX — начала XX вв., и именно в силу своей простоты она сохраняла убедительность на протяжении ряда десятилетий.

Но здесь-то и произошли в текущем столетии глубинные сдвиги в основаниях атомной физики, заставившие нас отойти от такого понимания реальности, которое было свойственно атомистической философии древности. Предполагаемая объективная реальность элементарных частиц оказалась слишком грубым упрощением действительного положения вещей и должна была уступить место более абстрактным представлениям. Если мы хотим составить себе картину существования элементарных частиц, мы уже принципиально не можем игнорировать те физические процессы, с помощью которых мы получаем сведения о них. При наблюдении предметов нашего повседневного опыта физические процессы, обеспечивающие это наблюдение, играют весьма подчиненную роль, но в мельчайших составных частях материи каждый акт наблюдения вызывает серьезные возмущения, так что нельзя более говорить о поведении частицы вне зависимости от процесса наблюдения. В результате получается, что те законы природы, которым мы даем математическую формулировку в квантовой теории, относятся уже не к элементарным частицам как таковым, а к нашему знанию о них. Стало быть, и вопрос, существуют ли в пространстве и времени частицы «как таковые», не может более ставиться в такой форме. Отныне мы можем говорить только о том, что происходит, когда частица, поведение которой регистрируется, взаимодействует с какой-нибудь другой физической системой, например с измерительным прибором. В результате представление об объективной реальности элементарных частиц странным образом исчезает, но исчезает оно не в тумане какого-то нового понимания реальности или еще не понятого представления о ней, а в прозрачной ясности математики, описывающей не поведение элементарных частиц, а **наше знание** о нем. Физик-атомщик вынужден мириться с тем, что его наука представляет собой всего лишь звено в бесконечной цепи взаимоотношений человека и природы, она не может говорить попросту о природе «как таковой». Познание природы всегда уже предполагает присутствие человека, и надо ясно сознавать, что мы, как выразился Бор, не только зрители спектакля, но одновременно и действующие лица драмы.

Прежде чем говорить о следствиях общего характера, которые вытекают из этой новой ситуации в современной физике, следует обсудить процесс, тесно связанный с развитием естественных наук, но еще более важный с точки зрения практической жизни на Земле,— распространение техники. Ведь именно техника впервые распространила по всему миру зародившуюся на Западе естественную науку и обеспечила ей центральное место в мышлении нашего времени. На протяжении последних двухсот лет техника в процессе развития неизменно оказывалась и предпосылкой и следствием науки. Предпосылкой потому, что расширение и углубление науки зачастую могло осуществляться только посредством совершенствования наблюдательных инструментов; достаточно вспомнить изобретение телескопа и микроскопа или открытие рентгеновских лучей. С другой стороны, техника представляет собой следствие естествознания, поскольку техническое использование природных сил оказывается вообще возможным только на основе детального знания тех законов природы, которые действуют в соответствующей сфере опыта.

Так, в XVIII — начале XIX вв. развивалась прежде всего техника, основанная на использовании механических процессов. Идет ли речь о ткачестве, о перемещении грузов или о кузнечной обработке больших кусков железа, повсюду здесь машины всего лишь подражают деятельности человеческой руки. Поэтому на первый взгляд такая форма техники воспринималась как продолжение и расширение старых форм ремесла. Постороннему человеку она каза-

лась понятной и ясной точно так же, как ему представлялось ясным обычное ремесло, основы которого в какой-то мере известны всякому, даже если и не всякий умеет воспроизвести в точности все его приемы. Введение паровой машины опять-таки принципиально не изменило этого характера техники. Впрочем, как раз с этого момента приобретает неведомые ранее размеры экспансия техники, поскольку теперь открылась возможность поставить на службу человеку мощь природных сил, сконцентрированных в каменном угле, и передать им ту работу, для которой прежде требовался ручной труд.

Пожалуй, только во второй половине прошлого столетия, в связи с развитием электротехники, характер техники решительно изменился. Отныне едва ли можно было говорить о непосредственной связи с ремесленной техникой прошлого. В значительной мере речь теперь идет уже об использовании природных сил, которые вряд ли были известны человеку в природе, данной ему в непосредственном опыте. Поэтому еще и сегодня электротехника для многих таит в себе что-то жуткое, и, хотя она повсюду окружает нас, ее чаще всего воспринимают как нечто по меньшей мере непонятное. Хотя высоковольтная линия, к которой нельзя приближаться, и придает известную наглядность применяемому здесь понятию силового поля, вся эта область природы по существу остается нам чуждой. Внутренний вид сложного электрического аппарата порою пугает нас так же, как лицезрение хирургической операции.

Пожалуй, и в химической технике можно было еще видеть продолжение одной из отраслей прежнего ремесла; вспомним хотя бы о ремесле красильщика, кожевенника или аптекаря. Но и тут размах, который с начала нашего столетия приняло развитие новой химической техники, не идет ни в какое сравнение с предшествующим положением дел.

Наконец, в атомной технике дело идет об использовании таких природных сил, к которым нет подступов из мира естественного опыта. Может быть, и эта техника станет для нас в конце концов столь же привычной, какой стала для наших современников электротехника, без которой невозможно уже представить современный быт. Но от того, что вещи входят в обиход, они еще не становятся частями природы в прежнем смысле слова. Возможно, с течением времени многие технические приспособления будут столь же неразрывно связаны с человеком, как раковина с улиткой и паутина с пауком. Но и в этом случае машины были бы скорее частью нашего человеческого организма, чем частью окружающей нас природы.

Техника глубоко вторгается во взаимоотношения природы и человека еще и в силу того, что она существенно преобразует окружающий человека мир, а тем самым постоянно и неуклонно раскрывает перед ним мир в естественнонаучном аспекте. Претензия науки охватить весь космос единым методом, который — путем последовательного обособления и разъяснения отдельных явлений — шествует от одной взаимосвязи природы к другой, отражается и в технике, которая шаг за шагом проникает во все новые и новые области, преобразует у нас на глазах окружающий мир и в результате запечатлевает на нем наш образ. Подобно тому как в науке каждый отдельный вопрос подчинен великой задаче понять природу в целом, так и любой, сколь угодно малый технический успех служит общей цели увеличить материальное могущество человека. Ценность этой цели вызывает столь же мало сомнений, что и ценность научного познания природы, и обе цели совпадают в общеизвестном лозунге: «Знание — сила». Хотя для каждого отдельного технического процесса вроде бы и можно показать его подчиненность общей цели, однако развитие техники в целом характеризуется тем, что отдельные технические процессы оказываются связанными с этой общей целью зачастую весьма косвенно, и увидеть в них часть сознательного плана по достижению этой цели почти невозможно. В подобных случаях техника кажется уже не продуктом сознательного человеческого стремления расширить свою материальную власть; скорее уж она представляется глобальным биологическим процессом, в котором структуры, свойственные человеческому организму, все шире и шире переносятся на окружающий человека мир,— биологическим процессом, стало быть, который именно как таковой ускользает от контроля человека, ибо, «хотя человек и может делать, что хочет, он не может решить, чего ему хотеть».

В этой связи часто говорят, что изменения, глубоко затронувшие в техническую эпоху окружающий мир и образ нашей жизни, угрожающе деформировали также и наше мышление и что здесь следует искать коренную причину кризисов, которые потрясают наш мир и сказываются, между прочим, также и в современном искусстве. Это предостережение, безусловно,

гораздо древнее, чем техника и естествознание Нового времени. Примитивные формы техники и машин существовали издавна, и люди должны были задуматься над подобными вопросами с самых древних времен. Например, уже два с половиной тысячелетия назад китайский мудрец Чжуан Цзы говорил об опасностях, которыми чревато для человечества использование машин, и мне хочется привести здесь одно важное для нашей темы место из его сочинений:

„Проходя севернее реки Хань, Цзыгун заметил старика, трудящегося на своем огороде. Выкопав канавы для орошения, он сам спускался в колодец, поднимал наверх наполненный водой сосуд и выливал воду в канаву. Трудился неутомимо, но достигал немногого.

Цзыгун сказал: «Есть устройство, с помощью которого можно за один день наполнить сто канав. Сил расходуется мало, а достигается многое. Не захотели бы Вы им воспользоваться?»

Огородник выпрямился, посмотрел на него и спросил: «Что же это за устройство?»

Цзыгун ему сказал: «Берут деревянную перекладину, заднюю часть потяжелее, переднюю полегче (с ее помощью можно черпать воду так, что она только клокотать будет). Это устройство называется журавлем».

Гнев выразился на лице старика, и, усмехнувшись, он сказал: «Я слышал от своего учителя: Кто использует машины, тот делает все свои дела машинообразно; кто действует машинообразно, у того сердце становится машинным. У кого в груди машинное сердце, тот утрачивает чистую простоту, а без чистой простоты не может быть уверенности в побуждениях собственного духа. Неуверенность в побуждениях собственного духа не уживается с истинным смыслом». Я не потому не пользуюсь этой машиной, что ее не знаю, а потому, что стыжусь это делать»"[2].

Любой из нас почувствует, что в этой древней истории содержится значительная доля истины. Едва ли можно охарактеризовать положение человека в нашу кризисную эпоху более метко, чем «неуверенность в побуждениях собственного духа». И все же, хотя техника, машины распространились по всему свету в таких размерах, о которых наш китайский мудрец не мог и подозревать, тем не менее за два протекших тысячелетия на Земле возникли прекраснейшие произведения искусства, и простота души, о которой говорит философ, не вовсе была утрачена — то с меньшей, то с большей силой являла она себя в потоке столетий и плодоносила вновь и вновь. Наконец, совершенствование орудий труда — это ведь тоже форма роста человеческого рода, во всяком случае, технику саму по себе нельзя считать причиной того, что ныне повсеместно утрачивается сознание внутренней связи событий.

Ближе к истине, по-видимому, те, кто возлагает ответственность за множество переживаемых трудностей на неожиданную и необычную — по сравнению с прежним темпом изменений — быстроту, с которой техника распространялась за последние 50 лет. В противоположность прежним эпохам интенсивность изменений просто не оставляла людям времени приспособиться к новым условиям. Но и в этом еще нельзя видеть верного или достаточно полного объяснения того, почему ситуация, с которой столкнулась наша эпоха, кажется чем-то совершенно новым, едва ли имеющим аналогии в истории.

В начале статьи уже говорилось о том, что трансформацию основоположений современного естествознания можно рассматривать как симптом смещений в коренных основах нашего существования, которые проявляются одновременно во многих сферах: в изменении образа жизни и манеры мыслить, во внешних катастрофах, войнах и революциях. Если, отталкиваясь от ситуации в современном естествознании, попытаться нащупать эти заколебавшиеся основы, мы, по-видимому, не слишком упростим положение вещей, сказав, что *впервые в истории человек остался на Земле один на один с самим собой*, что он не встречает отныне никакого другого партнера или противника. Прежде всего и проще всего это сказывается в борьбе человека с внешними опасностями. До сих пор человеку угрожали дикие животные, болезни, холод и другие силы природы. Всякое расширение техники означало в этом противоборстве укрепление позиций человека, иными словами — прогресс. В наше время, когда плотность населения на Земле постоянно растет, ограничение жизненных возможностей, а стало быть, и угроза идет в первую очередь от других людей, которые заявляют свои права на пользование земными благами. В этих столкновениях распростра-

[2] Перевод сделан по тексту В. Гейзенберга. Ср. русские переводы этого отрывка в изданиях: Атеисты, материалисты, диалектики древнего Китая / Пер. Л. Д. Позднеевой. М., 1967. С. 192; Рубин В. А. Идеология и культура древнего Китая. М., 1970. С. 137; Малявин В. В. Чжуан-цзы. М., 1985. С. 134.

нение техники само по себе нельзя считать прогрессом.

Но утверждение, что человек противостоит теперь только самому себе, приобретает в техническую эпоху и гораздо более глубокий смысл. В прежние эпохи человек видел себя стоящим наедине с природой. Населенная всевозможными живыми существами природа была царством, живущим по своим законам, и человек должен был каким-то образом суметь включиться в эту жизнь. Теперь же мы живем в мире, столь глубоко преобразованном человеком, что повсюду и ежечасно — пользуемся ли бытовыми приборами, приобретаем ли приготовленную машинами пищу или проходим преображенной человеком местностью — мы сталкиваемся со структурами, вызванными к жизни человеком, и в каком-то смысле встречаемся только с самими собой. Существуют, конечно, территории, где этот процесс еще далек от завершения, но рано или поздно господство человека в этом отношении должно стать полным.

Отчетливее всего эта новая ситуация выступает именно в современном естествознании. Здесь оказывается — выше я уже описал это,— что те составные части материи, которые мы первоначально считали последней объективной реальностью, вообще нельзя рассматривать «сами по себе», что они ускользают от какой бы то ни было объективной фиксации в пространстве и времени и что предметом научного анализа в принципе может быть только наше знание об этих частицах. Целью исследования поэтому уже не является познание атома и его движения «самих по себе», т. е. вне зависимости от экспериментально поставленного вопроса. Мы с самого начала находимся в средоточии взаимоотношений природы и человека, и естествознание представляет собой только часть этих отношений, так что общепринятое разделение мира на субъект и объект, внутренний мир и внешний, тело и душу больше не годится и приводит к затруднениям. Стало быть, и в естествознании предметом исследования является уже не природа сама по себе, а природа, поскольку она подлежит человеческому вопрошанию, а поэтому и здесь человек опять-таки встречает самого себя.

Задача нашего времени состоит, очевидно, в том, чтобы суметь справиться с этой новой ситуацией во всех областях жизни. И только если это удастся, человек сможет вновь обрести ту «уверенность в побуждениях собственного духа», о которой говорил китайский мудрец. Этот путь будет долгим и трудным, и мы не знаем, какие страдания заставят нас останавливаться на нем. Если тем не менее искать признаки, по которым можно представить себе этот путь, позволительно еще раз обратиться к примеру точных наук.

В квантовой теории с описанной ситуацией справились, как только удалось выразить ее математически, а это значит — ясно, не опасаясь логического противоречия, в каждом отдельном случае предсказывать результат эксперимента. С новой ситуацией справились, следовательно, в тот момент, когда были устранены неясности. Между тем математические формулы отображают теперь уже не природу, а наше знание о природе, а это значит, что мы отказываемся от того способа описания природы, который был в ходу на протяжении столетий и который еще несколько десятков лет назад считался само собой разумеющейся целью всего точного естествознания. Пока можно сказать только одно: в области атомной физики справились с положением постольку, поскольку сумели правильно описывать опыты. Но уже там, где речь идет о философских интерпретациях квантовой теории, мнения расходятся, и порою высказывается тот взгляд, что раз новая форма описания природы не отвечает прежнему идеалу научной истины, она неудовлетворительна, во всяком случае, не окончательна и может рассматриваться лишь в качестве симптома современного кризиса.

В этой связи целесообразно обсудить понятие научной истины в несколько более общем плане и задаться вопросом о критерии, позволяющем судить, когда научное познание можно назвать последовательным и законченным. Сначала довольно внешний критерий. Пока какая-либо область духовной жизни развивается непрерывно, без внутренних разрывов, перед работающим в этой области индивидом всегда уже стоят отдельные проблемы, задачи, до некоторой степени ремесленные. Их решение не является самоцелью, ценность их вполне открывается в контексте общей, единственно важной связи. Эти частные проблемы всегда уже имеются, их не нужно искать, и работа над ними является условием сотрудничества по раскрытию общей связи. Так, скажем, средневековые скульпторы старались как можно искуснее передать складки на платьях, и решение этой частной проблемы было необходимо, поскольку и складки на платьях святых входили в великий религиозный синтез, ради которого, собственно, все и делалось. Подобным образом и в совре-

менном естествознании всегда уже имелись и имеются сейчас частные проблемы, занятие которыми образует условие понимания общей взаимосвязи. За последние 50 лет такие проблемы возникали всегда сами собой, их не нужно было искать, а целью всегда была одна и та же общая совокупность законов природы. Пока с этой совершенно внешней точки зрения нельзя усмотреть никакого разрыва в непрерывном развитии точного естествознания.

Что же касается окончательности результата, то следует напомнить, что в точном естествознании окончательные решения каждый раз давались для строго определенной сферы опыта. Например, законы Ньютона и математические следствия из них заключают в себе окончательный, раз и навсегда полученный ответ на те вопросы, которые могут быть поставлены в понятиях ньютоновской механики. Но применимость этих решений не выходит за рамки применимости понятий ньютоновской механики и ее способа постановки вопросов. Вот почему уже, к примеру, учение об электричестве не поддается анализу с помощью этих понятий, и в процессе исследования этой новой сферы опыта возникла новая система понятий, с помощью которой удалось сформулировать в окончательном математическом виде законы электричества. В контексте точного естествознания слово «окончательно» означает, очевидно, следующее: *в каждом отдельном случае существует замкнутая в себе, математически выразимая система понятий и законов, которая согласуется с определенной сферой опыта* и в этих пределах справедлива для всего космоса и не подлежит ни изменению, ни улучшению. Разумеется, нельзя ожидать, что эти понятия и законы окажутся пригодными к тому, чтобы впоследствии описать новую сферу опыта. Об окончательности понятий и законов квантовой теории тоже можно говорить лишь в таком ограниченном смысле, и только в этом ограниченном смысле научное понятие получает свою окончательную фиксацию в математическом или каком-нибудь другом языке.

Нечто подобное принимается ведь и в некоторых философиях права. Даже если правовая система уже имеется, тем не менее в каждом новом случае необходимо, вообще говоря, отыскивать новую правовую норму. Кодифицированное право, во всяком случае, охватывает лишь ограниченную сферу жизненного опыта и поэтому не может быть обязательным всегда. Точное естествознание тоже исходит из того, что природа может, в конечном счете, быть понята в каждой новой сфере опыта. При этом, однако, само значение слова «понимать» отнюдь не считается раз и навсегда установленным, а математически сформулированное естественнонаучное знание прошлых эпох хотя и «окончательно», но применимо далеко не всегда и везде. Именно в силу этого обстоятельства нельзя научно обосновать вероучение, имеющее обязательную силу для всей жизни. Такое обоснование можно было бы провести с помощью фиксированных научных понятий, а они применимы только в ограниченной сфере опыта. Поэтому часто встречающееся во вступлениях к современным вероучительным сочинениям утверждение, будто речь в них идет не о вере, а о научно обоснованном знании,— внутренне противоречиво и основано на самообмане.

Этот вывод, однако, не дает повода усомниться в прочности того фундамента, на котором зиждется здание точного естествознания. Понятие научной истины, которое лежит в основе естествознания, может включать в себя самые разные способы понимания природы, с ним связано не только естествознание прошлых эпох, но и современная атомная физика, а это значит, что можно сладить и с такой познавательной ситуацией, когда невозможна полная объективизация процесса, что и в этом случае можно привести в порядок отношение к природе.

Если в наше время можно говорить о картине природы, складывающейся в точных науках, речь, по сути дела, идет уже не о картине природы, а о картине наших отношений к природе. Старое разделение мира на объективный ход событий в пространстве и времени, с одной стороны, и душу, в которой отражаются эти события,— с другой, иначе говоря, картезианское различие res cogitans и res extensa[3] уже не может служить отправной точкой в понимании современной науки. В поле зрения этой науки прежде всего — сеть взаимоотношений человека с природой, те связи, в силу которых мы, телесные существа, представляем собой часть природы, зависящую от других ее частей, и в силу которых сама природа оказывается предметом нашей мысли и действия только вместе с человеком. Наука уже не занимает позиции наблюдателя природы, она понимает себя как частный вид взаимодействия человека с природой. Научный метод, сводившийся к

[3] Res cogitans и res extensa — вещь мыслящая и вещь протяженная (лат.).— *Прим. ред.*

изоляции, объяснению и упорядочению, натолкнулся на свои границы. Оказалось, что его действие изменяет и преобразует предмет познания, вследствие чего сам метод уже не может быть отстранен от предмета. В результате естественнонаучная картина мира по существу перестает быть только естественнонаучной.

Выявление этих парадоксов применительно к узкой сфере науки пока еще не слишком много дает нам для понимания более общей ситуации эпохи, когда мы, если повторить уже использованное упрощение, оказались один на один с самими собою. В этой ситуации надежда на то, что расширение материальной и духовной власти человека непременно имеет прогрессивный характер, обнаруживает — правда, еще далеко не ясно — свои пределы. И чем сильнее бьется об эти пределы волна оптимизма, порожденного верой в прогресс, тем серьезнее опасности. Характер опасности, о которой тут идет речь, можно пояснить и другим образом. Неограниченно, как кажется, расширяя свою материальную власть, человечество попало в положение капитана, корабль которого столь крепко закован в сталь и железо, что магнитная стрелка корабельного компаса показывает уже не на север, а на стальную массу самого корабля. На таком корабле уже никуда не доехать, он может двигаться только по кругу и становится игрушкой ветра и бурь. Вспомним теперь о ситуации в современной физике. В действительности, опасность существует лишь до тех пор, пока капитан не знает, что компас уже не реагирует на магнитное поле Земли. Как только это стало ясным, можно считать, что угроза наполовину устранена. Капитан, который не желает кружить на месте и хочет достигнуть известной или неведомой цели, найдет способ определить путь корабля. Он может использовать новый, современный вид компаса, который не реагирует на массу корабля, или же, как в древности, ориентироваться по звездам, хотя, конечно, от нас не зависит, видимы ли звезды на небе или невидимы, а в наше время их не часто увидишь. Как бы там ни было, уже само сознание границы, на которую наталкивается вера в прогресс, таит в себе желание не кружить на месте, а двигаться к цели. По мере того как мы уясняем характер этой границы, она сама оказывается той первой опорой, с помощью которой мы можем найти новую ориентацию. Сопоставление с современной наукой позволяет, может быть, обрести надежду на то, что дело здесь в ограниченности не столько сферы человеческой жизнедеятельности вообще, сколько определенной формы ее расширения. Пространство, в котором развивается человек как духовное существо, имеет больше измерений, чем то одно, которое он осваивал в течение последних столетий. Если это так, то может случиться, что сознательное обживание этой границы приведет по прошествии долгого времени к известной стабилизации, когда человеческая мысль сама собою снова устроится вокруг общего средоточия. Быть может, такое устроение заложило бы также основу для нового развития искусства, говорить об этом, впрочем, не дело естествоиспытателя.

Перевод с немецкого
А. В. Ахутина

ОТ ПЕРЕВОДЧИКА

Вернер Гейзенберг (1901—1976) — один из крупнейших физиков-теоретиков XX в. Первая работа, в которой были заложены основы новой — квантовой — механики, опубликована им в 1925 г. Все дальнейшее развитие квантовой теории во многом обязано его творческой энергии. В 1925—1927 гг. Гейзенберг вместе с М. Борном и П. Иорданом разрабатывает матричный вариант квантовой механики. В 1927 г. он формулирует так называемые соотношения неопределенностей, которые вместе с принципом дополнительности Н. Бора и вероятностным подходом М. Борна определяют концептуальный базис квантовой теории. В 1932 г. ему была присуждена Нобелевская премия «За установление квантовой механики».

Впоследствии Гейзенберг занимался физикой ядра и элементарных частиц. С его именем связана одна из первых попыток создания единой теории элементарных частиц (нелинейная спинорная теория поля).

Со времени окончания гимназии Гейзенберга привлекают те простые и глубокие проблемы, решение которых требует сочетания философски бескомпромиссной мысли с конструктивной ясностью математической физики. Именно такова проблема атома — вечная проблема европейской мысли. С течением времени философское измерение физических проблем все более определяет пространство размышлений Гейзенберга и вскоре, в особенности после тесного общения с Бором в

1927—1929 гг., становится самостоятельной сферой его творчества.

Перед нами работа, занимающая важное место в философском наследии Гейзенберга. С ней связана обширная группа статей и выступлений, в которых он обсуждает вопросы, особо волновавшие его в послевоенные годы: судьба научно-технической цивилизации, взаимоотношения науки и культуры, человека и природы, гуманитарный смысл теоретической физики и произошедших в ней фундаментальных изменений. В философских сочинениях Гейзенберга, переведенных до сих пор на русский язык (книги: «Философские проблемы атомной физики», 1953 г.; «Физика и философия», 1963 г.; ряд статей в журналах «Вопросы философии» и «Успехи физических наук», в также главы из книги «Часть и целое», опубликованные на страницах «Природы»[1]), большей частью представлены его попытки проследить логику развития физических понятий и изменения структуры теоретического мышления с целью уяснить «логическую ситуацию» квантовой механики, с одной стороны, а с другой — переосмыслить в контексте этой новой ситуации историю самой классической физики. Здесь же Гейзенберга занимают вопросы иного рода. По сути они относятся к философии природы и культуры.

В опыте познания человеком природы Гейзенберг старается увидеть теперь опыт познания человеком самого себя — своего места в мире, взаимоотношений с миром и реализации себя в качестве человека. Гейзенберг прослеживает, как под взглядом познающего ума изменяется сам образ познаваемого мира, как складывается облик современной научно-технической цивилизации, как поразному в естествознании и гуманитарных сферах сказывается свойственный ей образ мышления. Когда проблемы неклассической физики рассматриваются в таком контексте, они обретают особое значение.

Опыт новейшей физики Гейзенберг осмысливает как симптом глубинных сдвигов во взаимоотношениях человека и природы и стремится извлечь из этого опыта не только гносеологический, но и, говоря по старинке, метафизический урок, что значит — суметь распознать в науке, технике, искусстве не просто применение известных способностей и удовлетворение известных потребностей, а определенный способ бытия человеком в мире, способ вторжения человека в мир и соответствующий этому способу образ раскрытия мира, природы человеку. Нетрудно заметить, что путь, на который вступает здесь Гейзенберг, ведет в средоточие острейших проблем современности[2]. Читатель убедится, сколь актуально и свежо звучат сегодня его размышления более чем тридцатилетней давности.

Одна из главных тем публикуемой статьи — внутренняя связь научного познания природы и ее технического переустройства.

Гейзенберг подчеркивает один принципиально важный момент, часто упускаемый из виду именно в силу его очевидности: экспериментальный, технический характер научного исследования. Характер этот познание приобрело к концу XVII в., когда «двинулось на завоевание тех сфер природы, сведения о которых мы можем получать лишь косвенно, лишь с помощью специальной техники, т. е. более или менее сложной аппаратуры». Но уже с самого начала наука Нового времени зиждится не на непосредственном чувственном опыте, а как раз на выходе за его рамки с помощью экспериментальной техники. Ее возникновение связано не столько с переходом от «текстов» к «вещам», сколько с техническим преодолением естественной ограниченности человеческих чувств и субъективности непосредственного опыта. Из монастырских библиотек и университетских аудиторий переходили в мастерские и лаборатории, а схоластические трактаты сменялись на столах ученых трактатами по математике.

Напомним, что уже в прологе современной науки мы встречаемся с тремя открытиями, вся сила которых была в способности преодоления «естественных» границ: печатная книга, компас, порох. Типографское тиражирование заранее предназначало сочинение не только «своим», но и «любым», «посторонним», для которых традиционные конвенции не имеют силы. Компас — не только прибор, позволивший выйти за пределы известного мира, ориентироваться без ориентиров. С ним связано начало исследования магнетизма как новой сферы природных явлений. Порох — это первый концентрат энергии. Напомним, что одним из путей возникновения новой механики были баллистические исследования.

Достаточно было Галилею немного усовершенствовать телескоп, как человек смог буквально заглянуть за «лунную грань». Открытая в бесконечность однородность Вселенной как бы силою фактических свидетельств сменила образ аристотелевского Космоса. Не менее грандиозный переворот в картине природы произвел микроскоп. Словом, всякое серьезное научное открытие было связано отныне с выходом за рамки известного мира, с открытием новых областей при помощи усовершенствованной техники научного исследования. Процесс этот — самовозрастающий: новое знание становится базисом совершенствования исследовательской техники, которая в свою очередь позволяет проникнуть в недоступные до тех пор сферы природы. Важное отличие новейшей физики в том, что здесь нащупывается некий принципиальный предел подоб-

[1] См.: Гейзенберг В. Квантовая механика и беседы с Эйнштейном // Природа. 1972. № 5. С. 84—89; Он же. Беседы о взаимоотношении между биологией, физикой и химией // Там же. 1973. № 4. С. 76—83; Он же. Атомная физика — годы 1935—1937 // Там же. 1974. № 9. С. 55—59; Он же. Прорыв в новую землю // Там же. 1985. № 8. С. 4.

[2] См., напр.: Новая технократическая волна на Западе. М., 1986. Здесь опубликованы, в частности, работы немецкого философа М. Хайдеггера, имеющие непосредственное отношение к публикуемой статье В. Гейзенберга. См. в указ. сб. примечания 22, 38, 46 и 47 переводчика В. В. Бибихина.

ного развития. Предел этот стал ощутим, когда подошли к такой области, в которой исследовательское действие (изоляция, разделение, измерение, регистрация, наблюдение) оказывается сравнимым по величине с исследуемым взаимодействием.

Другой вопрос, который обсуждается здесь Гейзенбергом, связан с первым, хотя связь эта, на первый взгляд, и не очевидна. На пороге указанной предельной области картина природы меняется совершенно особым образом. В ней как бы замечается присутствие самого познающего, познавательное действие должно быть вписано в эту картину.

Дело в том, что классическая физика была основана на одной идеализации. Допускалось, что всю технику исследования можно «вычесть» из результата, что можно представить картину естественных процессов «самих по себе», в идеальной непосредственности и безусловности. Эта идеализация лежит в основе понятия об объективности научного знания, представленного в виде теории неких идеальных объектов. Квантовая физика обнаруживает пределы этой идеализации. Она ставит под вопрос классическую идеализацию реальности, она запрещает смешивать эту идеализацию с самой реальностью и тем самым выдвигает проблему реальности на первый план. В само понятие реальности должно быть отныне явно включено, что форма ее знания опосредована, обусловлена реальным же, физическим актом ее познания.

Так, наблюдение или измерение в микрофизике — это неделимый акт взаимодействия, в котором то, что́ наблюдается, реально обусловлено тем, с помощью чего мы наблюдаем. Фундаментально при этом то обстоятельство, что разные экспериментальные акты актуализуют в исследуемой квантовой системе, вообще говоря, разные взаимоисключающие факты, которые не сочетаются в образе некоего объекта или не могут быть ему одновременно приписаны. Теоретически эта важнейшая особенность квантовой физики представлена известными соотношениями неопределенностей Гейзенберга и принципом дополнительности Бора. Здесь нет возможности вникать в суть возникающих проблем[3]. Для иллюстрации напомним лишь, что, согласно принципу дополнительности, квантовая реальность не может быть представлена иначе, чем в системе дополнительных, несовместимых друг с другом экспериментальных ситуаций — либо как волна (например, на дифракционной решетке), либо как частица (например, в камере Вильсона). Что же касается этой реальности «самой по себе», она может быть описана только как определенная система возможных состояний, возможных взаимодействий, каждое из которых характеризуется определенной мерой вероятности[4].

Именно с этими уточнениями и в этом смысле следует понимать слова Гейзенберга о том, что формулируемые в квантовой теории законы относятся «уже не к элементарным частицам как таковым, а к нашему знанию о них» и что представление об объективной реальности исчезает «в прозрачной ясности математики». Если квантовомеханическая система в «свободном состоянии» представляется не в форме объекта, а в формуле, описывающей возможности стать тем или иным объектом, ее реальность ничуть не теряется. Речь идет здесь о серьезном углублении понятия материи по сравнению с тем, которое сформировалось на почве идеализаций классической физики. Вероятностное истолкование элемента материи в квантовой механике означает «количественное выражение старого понятия «потенция» аристотелевской физики»[5].

Имя Аристотеля возникает здесь далеко не случайно. В других контекстах Гейзенберг столь же не случайно обращается к Платону или Канту. Если на уровне конкретных знаний уже и начало XX в. кажется чем-то давно прошедшим, то в сфере понятий и оснований, у корней и философской сердцевины вещей однажды бывшее не становится прошлым. Мы встречаемся здесь с мыслителями прошлого как с современными собеседниками. Способность вступить в такую беседу — свидетельство подлинно философской мысли. А Гейзенберг — подобно другим крупнейшим физикам, для которых решение физических проблем становилось путем и формой понимания природы вещей,— был серьезным философом. И публикуемая статья — явное тому подтверждение.

---

[3] См., напр.: Марков М. А. О природе материи. М., 1976.

[4] Возникающие здесь трудности и даже недоразумения обязаны тому, что классическая физика однозначно приучила нас отождествлять понятие объекта с понятием самой материальной реальности. Курьез состоит в том, что объект есть как раз идеализация этой самой реальности.

[5] Гейзенберг В. Физика и философия. М., 1963. С. 22.

ЛУННОЕ ЗАТМЕНИЕ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ

Геолог Н. Т. Романов пишет, что 17 октября 1986 г. находился в районе месторождения Кизил-Дере (Южный Дагестан) и наблюдал полное лунное затмение. Через 37 мин после того, как тень Земли полностью закрыла Луну, произошло землетрясение, эпицентр которого находился неподалеку. После уточнения времени землетрясения по данным сейсмических станций Дагестанского филиала АН СССР и момента наибольшей фазы лунного затмения он убедился, что совпадение это не случайно и что «в данном случае гравитационное воздействие Луны оказалось «спусковым крючком» для «созревшего» землетрясения. Таким же образом, вероятно, могут быть спровоцированы и крупные землетрясения».

Сообщение нашего читателя комментирует ведущий научный сотрудник Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР кандидат физико-математических наук Ю. Н. Авсюк.

Лунное затмение случается во время полнолуний, когда тень, постоянно отбрасываемая Землей, падает на Луну. По такому небольшому экрану, как Луна, она проходит нечасто. Сам факт попадания тени Земли на какой-то космический объект, конечно, никак не связан с напряжениями в ее недрах. Куда интереснее проблема связи всяких, не обязательно затменных, полнолуний с землетрясениями, а точнее, о влиянии приливных сил, обусловленных притяжением Луны, на подготовку землетрясений.

В 1848 г. А. Пирре опубликовал исследования о связи частоты землетрясений с фазами Луны, т. е. с полнолуниями, новолуниями, первой и последней четвертью, а также с моментами прохождения Луной перигея и апогея своей орбиты. Он отметил, что землетрясения происходят в интервалах времени, близких к полнолуниям и новолуниям, особенно если эти события совпадают с прохождением Луной перигея орбиты. Французская Академия наук назначила комиссию для обсуждения выводов А. Пирре, в состав которой вошли астроном Д. Ф. Араго, математики Г. Ламе и Ж. Лиувилль, геолог Л. Эли де Бомон. Рассмотрев все материалы, комиссия признала эти эмпирические закономерности достоверными. Иными словами, на фактическом материале подтверждалась причастность приливных сил к землетрясениям.

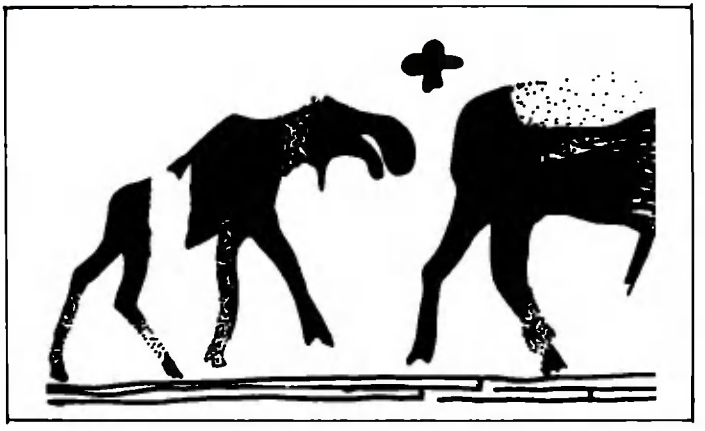
В XIX в. приливные силы не представляли собой ничего таинственного, их природа уже была объяснена Ньютоном. И то, что земная кора сильнее «потрескивает» в полнолуние и новолуние, вполне согласовывалось с поведением воды в океанах и артезианских колодцах, управляемым приливным воздействием Луны и Солнца. Уровень воды достигает наибольшего подъема во время новолуний и полнолуний, а спад приходится на время первой и четвертой четверти Луны. Но одно дело вода, и совсем другое — блоки земной коры.

Понятно, что, прежде чем произойдет сейсмический удар, в блоках земной коры должна накопиться упругая энергия. На это нужно время. Приливное воздействие, конечно, вносит свой вклад в накопление упругого напряжения, но его цикличность и амплитуду можно уподобить вибрации, которая происходит на фоне медленных тектонических процессов, играющих главную роль в созревании землятрясений.

Инструментальной регистрации развития такого процесса нет. Лишь отдельные наблюдения помогают схематично представить воздействие приливной силы на зону очага землетрясения. Когда накопившиеся на границах блоков упругие напряжения превышают некоторое критическое значение, различное для разных регионов, начинается медленное разгрузочное движение блоков. По данным геодезических измерений отмечается относительное изменение их высот незадолго перед сейсмическим ударом. В это время приливная вибрация может способствовать определенной направленности относительного движения блоков. Это особенно вероятно во время полнолуния или новолуния, когда амплитуда приливного воздействия максимальна и его периодичность близка к 12 часам.

Приливное воздействие способствует высвобождению стесненных друг другом блоков в той же мере, в какой мы сами облегчаем себе работу, когда потряхиваем какой-либо предмет, вытаскивая его из кучи других вещей. Это сравнение, пожалуй, больше соответствует действительности, чем образ спускового крючка, триггера, который подразумевает мгновенную необратимую реакцию на слабое воздействие. Шов начинает ползти медленно, ступенчато, о чем говорят предвестники землетрясения — форшоки. Лишь потом следует ускорение и удар, который уже способна зафиксировать измерительная аппаратура. Поэтому начало движения по разрыву не всегда известно.

Затмение Луны из-за медленности развития события и плохих, зачастую, условий наблюдения замечается не всеми. А наблюдать одновременно землетрясение и лунное затмение удается крайне редко. Эмоциональное воздействие такого события, безусловно, должно быть сильным, поскольку очевидец непосредственно ощущает тесную связь природных процессов.



Фрагмент писаницы на р. Мае близ урочища Серге.

НАСКАЛЬНЫЕ РИСУНКИ И КОЛЕБАНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Ф. П. Кренделев,
член-корреспондент АН СССР

Читинский институт природных ресурсов
Сибирского отделения АН СССР

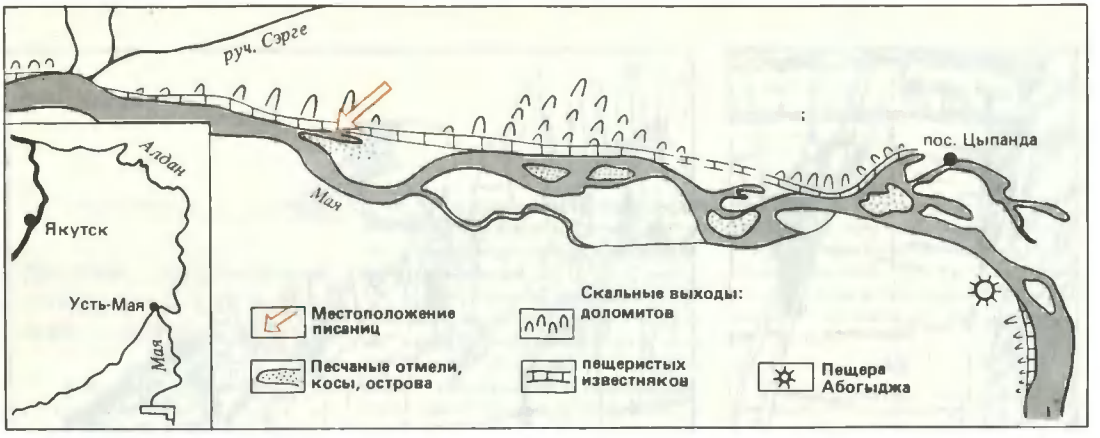
НЕДАВНО, разбирая архивы, я наткнулся на заметку, написанную в конце 1960-х годов для сборника, в который должны были войти материалы исследований, проведенных в то время «на стыке» с археологией. Такой сборник планировал издать крупнейший специалист по истории Сибири и сибирских народов А. П. Окладников. Он нередко прибегал к советам разных специалистов, и в том числе геологов и геоморфологов. Так, мне пришлось консультировать Окладникова по вопросам геохимии и геологии на его раскопках на Варвариной горе в Забайкалье. Планировавшийся сборник по каким-то причинам не вышел. Заметка же, как мне кажется, не устарела. Дело в том, что исследованный нами тогда археологический памятник позволяет сделать выводы о скорости движений земной коры на территории, которую предстоит осваивать в скором будущем.

К сожалению, качество сделанных тогда слайдов не позволяет их воспроизвести. Рисунки были мною выполнены во время экспедиции.

Летом 1967 г. наш геологический отряд плыл на самоходной барже «Сыргылана» по р. Мая. Это приток Алдана, впадающего в известную всем Лену. От археологов мы слышали, что в среднем течении Маи, близ заброшенного поселка Цыпанда, на береговом обрыве есть наскальные рисунки. Первым их увидел в бинокль с баржи наш капитан Д. Ф. Марков. Высадившись на правый берег реки, мы разглядели писаницы. На скале, на высоте 6,3 м от ее подножия и в 8 м от паводкового уровня воды, был отчетливо виден рисунок.

На плоскости, ориентированной с востока на запад (размером 1,2×0,4 м), изображено три лося, идущих вправо, к восходу солнца. Впереди — очень крупный лось, от которого сохранилась только часть крупа, задние ноги и часть передней ноги. Все остальное или облупилось, или смыто водой, проникающей через трещины. Следом за ним идет лосенок. Это наиболее хорошо сохранившаяся часть рисунка. У него размыты только часть шеи, передней ноги, крестец и части задних ног. Исключительно хорошо прорисована морда лосенка с характерным храпом, бородкой, отвислыми губами и серповидной ноздрей, холка и поджарый, кургузый круп. Этот лосенок комолый, у него тонкие, как бы разъезжающиеся ноги. Третий лось идет вслед за лосенком, но его фигура только угадывается, так как размыта настолько, что я не смог ее зарисовать. Кроме того, отчетливо видны отбитые куски породы вместе с рисунком. Этой фигуры нет на детальной зарисовке. Четвертая фигурка располагается прямо над мордой лосенка. Это пятно, напоминающее по форме туз треф. Края фигурки несколько размазаны дождем. Можно предполагать, что это птица, которую спугнул лосенок, или коршун, парящий высоко в небе.

Выполненный малиновой краской рисунок удивительно гармонирует с породой, на которой он сделан. Она яблочно-зеленого цвета с буровато-малиновыми полосками. Толщина краски не более 0,2 мм. По рисунку видно, что контур предварительно не прорисовывался: краска по всему рисун-



Геологическое строение и положение археологических объектов в районе пос. Цыпанда.

ку положена весьма равномерно. Мы тщательно обследовали берега и побережье на протяжении примерно двух десятков километров и обнаружили возможные источники малиновой краски, которую использовал древний художник.

В береговых обрывах близ Цыпанды обнажаются преимущественно карбонатные породы позднего докембрия — известняки и мергели красивых голубоватых, яблочно-зеленых и красноватых оттенков. Карбонатные скалы с пещерами иногда «взбираются» вверх и уходят довольно далеко от берега. Выше известняков залегают светло-серые, иногда розоватые доломиты. В них много пор, заполненных пластичными глинами.

Доломиты на поверхности образуют многочисленные скалы, столбы, останцы самых причудливых форм с большим количеством пустот (каверн) и пещер размерами до десятков метров в поперечнике. Наиболее известна близ Цыпанды многоярусная пещера Абогыджо (дом черта) на левом берегу р. Маи.

В верхних ее ярусах круглый год сохраняется лед. На нижних же ярусах вода не замерзает. Этот уровень соответствует уровню р. Маи в межень. На стенах пещеры хорошо различаются колебания уровня Маи. Высота пещеры отражает размах подъема земной коры (он составляет более 3 десятков метров), а многоярусность — прерывистость, неравномерность в движении. Растворение известняков и доломитов идет выше уровня грунтовых вод, и следовательно, высота этого уровня менялась скачкообразно.

Стенки пещеры там, где нет снега и льда, покрыты охристой глиной, иногда белой, иногда розовой, а в отдельных кавернах малиновой. Это и есть нерастворимый остаток тех доломитов, при растворении которых образовалась пещера. Вероятно, в этой пещере и добывались краски для наскальных рисунков и других целей. В Италии такие краски называют terra rossa, т. е. красная земля.

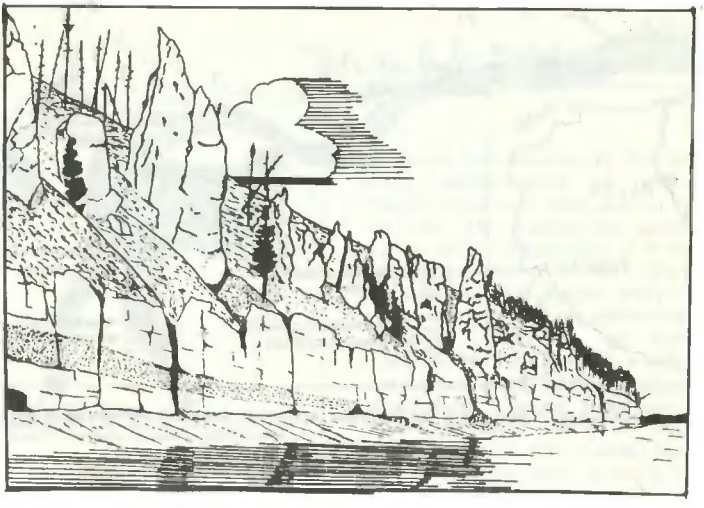
Мелкие каверны в береговых обрывах используют стрижи, к ним они прилепляют свои малиновые гнезда, сделанные из таких же охр; более крупные занимают хищные птицы, а в одной из крупных пещер мы видели лежку оленя. Несомненно, в районе могут быть и другие пещеры, в которых обитают звери и которые раньше могли заселять первобытные люди.

Не менее красивы, чем пещеры, берега реки. Причудливы скалы из слоистых разноцветных пород самых различных форм. В силу малой населенности края на картах почти нет собственных названий. Наш отряд увлекался придумыванием названий каждой скале, появляющейся на очередном повороте реки. И нам не приходилось напрягать воображение, так как любая из них сама выдавала себе паспорт: Мечеть, Сосиска, Помолимся, Черепашонок, Докладчик, Мопс, Парочка, Матрешка, Шестикантроп и т. д.

Известняки иногда образуют отвесные стены, полки, карнизы. В некоторых скалах их выходы напоминают циклопическую кладку, но форма камней всегда правильная, почти прямоугольная. Создается впечатление, что огромный амфитеатр в излучине реки служит цоколем для самых разнообразных стоящих на них фигур.

Древний рисунок обнаружен на скале, которая отличается от остальных тем, что отделена от коренного берега широкими почти двухметровыми трещинами так, что вокруг нее можно обойти. Она имеет вид обелиска, нижняя часть которого слагается почти прямоугольными плитами известняков. На высоте 7 м от основания лежит более толстая плита, выступающая карнизом по всему периметру обелиска. Прямо под ней, отделяясь 8—10-сантиметровыми прослоями буровато-красных мергелей, лежит пласт яблочно-зеленых более плотных пород. На плоской грани этой плиты

Зарисовка части скалы с писаницей.



Зарисовка правого берега р. Маи ниже пос. Цыпанда. Столбообразные останцы — доломиты, стенообразные скалы у уреза воды — известняки.

и размещается рисунок. Ниже пласта снова идет 10-сантиметровая пачка красновато-зеленых мергелей, а затем снова яблочно-зеленые или синеватые известняки. Зрительно пропласток с писаницей напоминает выцветшую орденскую ленту. Писаница защищена от дождя и солнца козырьком, образуемым верхней плитой.

Думается, что расположение писаниц на скалах представляет большой интерес для целей инженерной геологии. Дело в том, что характер рельефа и тип долин в этом районе позволяют считать, что здесь уже в четвертичное время шло воздымание земной коры. Об этом же говорит положение карстовых пещер и полостей выше уровня современных грунтовых вод в зоне вечной мерзлоты, для которой карст не характерен. Следовательно, в недалеком прошлом здесь был другой, теплый климат с обильными осадками.

Местоположение писаниц дает возможность оценить скорость подъема земной коры. Трудно предположить, что древний художник устанавливал мостки для того, чтобы создать свой первобытный шедевр. Скорее всего, он рисовал на уровне глаз. Просто за время, прошедшее с тех времен, река врезалась в воздымающийся рельеф. А поскольку карст развит только в верхних доломитах, поднятие, вероятно, было настолько быстрым, что в условиях вечной мерзлоты карст в нижних пластинах не успел образоваться. А. П. Окладников определил возраст писаниц в 5—8 тыс. лет. Современная высота писаниц над урезом воды около 8 м. Отсюда легко определить скорость воздымания земной коры в этом районе. Она составляет примерно 1 мм в год, или 1 см за десятилетие. (Расчет прост: высота писаниц над урезом воды, 8 м, минус средний рост человека до уровня глаз, 150 см, т. е. разность 6,5 м делим на среднее число из указанных возрастов — 6500 лет.)

Любопытно, что эти цифры близки к тем, которые получены по другим геологическим данным для древних докембрийских щитов, например для Скандинавии (Копенгаген — 1 мм/год; Хельсинки — до 10 мм/год; Карелия — 2—4 мм/год).

Итак, наблюдения за геологическими и археологическими объектами дают информацию о колебаниях земной коры, весьма важную для многих практических целей (прокладка железных дорог, коммуникаций, выбор створов плотин и других гидротехнических сооружений, строительных площадок), и в особенности в тех местах, где не проводится повторных геодезических нивелировок. В этом отношении писаницы на р. Мае дают уникальный материал: как раз в этом месте еще первыми проектировщиками БАМа предлагалось проводить трассу железной дороги от Якутска на берег Охотского моря к Аяну. Идея этого проекта принадлежала декабристу Н. М. Муравьеву и обсуждается до сих пор. Эта цифра может оказаться важной и для проектировщиков газопровода от Вилюйской газоносной провинции к Охотскому морю.

Космические исследования

Запуски космических аппаратов в СССР (январь — февраль 1987 г.)

В январе—феврале 1987 г. в Советском Союзе было запущено 18 космических аппаратов, в том числе 14 спутников серии «Космос» с научной аппаратурой для продолжения исследований космического пространства.

Космический корабль «Союз ТМ-2» доставил на орбитальную станцию «Мир» космонавтов Ю. В. Романенко и А. И. Лавейкина, а автоматический корабль «Прогресс-27» — расходуемые материалы и различные грузы.

Очередной спутник связи «Молния-3» предназначен для эксплуатации системы дальней телефонно-телеграфной радиосвязи, а также передачи программ Центрального телевидения СССР на пункты сети «Орбита» и в рамках международного сотрудничества.

На метеорологическом спутнике «Метеор-2» установлены комплексы аппаратуры для получения глобальных изображений облачности и подстилающей поверхности в видимом и инфракрасном диапазонах спектра, а также радиометрическая аппаратура для непрерывных наблюдений за потоком проникающих излучений в околоземном космическом пространстве.

Продолжается полет советских автоматических межпланетных станций «Вега-1» и «Вега-2». После завершения комплексных исследований планеты Венера и кометы Галлея они продолжают движение по гелиоцентрическим траекториям между орбитами Земли и Венеры. Со станциями регулярно проводятся сеансы радиосвязи, в ходе которых измеряются параметры траекторий, контролируется состояние служебных систем и научной аппаратуры, ведутся измерения параметров межпланетной среды, меняющихся из-за возмущений, создаваемых активными процессами на Солнце.

Космический аппарат	Дата запуска	Параметры начальной орбиты			
		перигей, км	апогей, км	наклонение, град	период обращения, мин
«Метеор-2»	5.I	950	973	82,5	104
«Космос-1811»	9.I	181	367	55	89,7
«Космос-1812»	14.I	648	677	82,5	97,8
«Космос-1813»	15.I	208	387	72,8	90
«Прогресс-27»	16.I	189	280	51,6	88,9
«Космос-1814»	21.I	775	815	74	100,7
«Космос-1815»	22.I	345	558	50,7	93,5
«Молния-3»	22.I	473	40 800	62,8	736
«Космос-1816»	29.I	979	1 024	82,9	104,9
«Космос-1817»	30.I	192	224	51,6	88,4
«Космос-1818»	2.II	790	810	65	100,7
«Союз ТМ-2»	6.II	269*	308	51,6	90,1
«Космос-1819»	7.II	197	254	72,8	88,7
«Космос-1820»	14.II	185,9	273,2	64,8	88,8
«Космос-1821»	18.II	983	1 029	82,9	105
«Космос-1822»	19.II	205	331,5	73	89,5
«Космос-1823»	20.II	1 497	1 538	73,6	116
«Космос-1824»	26.II	177	370	67,2	89,7

* Параметры орбиты после коррекции.

Космические исследования

«Союз ТМ-2»

6 февраля 1987 г. в Советском Союзе был осуществлен запуск космического корабля «Союз ТМ-2» с экипажем в составе: командир корабля летчик-космонавт СССР Ю. В. Романенко и бортинженер А. И. Лавейкин. 8 февраля «Союз ТМ-2» состыковался с орбитальной научной станцией «Мир». После перехода экипажа в помещение станции на орбите приступила к работе вторая экспедиция станции «Мир». На новом этапе ее эксплуатации предусматривается создание постоянно действующего орбитального пилотируемого комплекса со специализированными модулями научного и народнохозяйственного назначения. Ю. В. Романенко и А. И. Лавейкину предстоит выполнить обширную программу астрофизических, геофизических, технологических, медико-биологических и технических исследований и экспериментов.

Первые дни на орбите космонавты посвятили расконсервации станции и ее переводу в режим пилотируемого полета, а также разгрузке автоматического корабля «Прогресс-27». В последующие дни экипаж был занят монтажом, проверкой и настройкой доставленной научной аппаратуры, дозаправкой объединенной двигательной установки горючим и окислителем из баков грузового корабля, заполнением освободившихся отсеков «Прогресса-27» отработавшим оборудованием. Были проведены также две кор-

рекции траектории орбитального комплекса с помощью двигательной установки автоматического корабля.

23 февраля «Прогресс-27» отделился от станции, а 25 февраля перешел на траекторию снижения, вошел в плотные слои атмосферы и прекратил существование.

Как обычно, исследовательская работа экипажа началась с комплексного медицинского обследования: исследовалась сердечно-сосудистая система, измерялась масса тела, оценивалось состояние мышц, мало нагружаемых в невесомости. В дальнейшем такие обследования проводились регулярно.

По программе исследования природных ресурсов Земли и изучения окружающей среды с помощью стационарной фотоаппаратуры были проведены съемки отдельных районов суши и акватории Мирового океана, а также несколько серий визуальных наблюдений.

На установке «Пион-М» начаты эксперименты по космическому материаловедению. Цель их — изучение процессов тепло- и массопереноса в жидких средах в условиях слабой гравитации. В эксперименте «Колосок» исследовалась динамика образования аэрозольных структур в условиях невесомости.

С. А. Никитин
Москва

Астрофизика

Вспышка сверхновой в Большом Магеллановом Облаке

С конца февраля 1987 г. все телескопы Южного полушария направлены в одну точку — туда, где в ближайшей к нам галактике, Большом Магеллановом Облаке (БМО), сияет Сверхновая звезда, которую открыл 24 февраля канадский астроном Я. Шелтон. Это случилось на обсерватории Лас Кампанас (Чили), где находятся южные станции университета г. Торонто (Канада) и обсерватории Маунт Вилсон (США)[1].

Каждый год астрономы открывают десяток-другой сверхновых — но в далеких галактиках; их блеск обычно не ярче 15-й или 16-й звездной величины (15^m—16^m). Событием стало обнаружение в мае прошлого года сверхновой в галактике NGC 5128 — радиоисточнике Центавр А; ее блеск достиг 12^m. Сверхновая Шелтона (SN 1987 A) имела в момент открытия около $4^m,5$ и стала первой со времен Кеплера сверхновой, которую можно было заметить невооруженным глазом. Правда, в 1885 г. вспыхнула сверхновая близ ядра галактики Андромеды; в максимуме ее блеск был около 5^m, но вряд ли кто-нибудь мог заметить при наблюдении невооруженным глазом, что интегральный блеск туманности Андромеды увеличился при этом на $0^m,3$.

Чрезвычайность зарегистрированного в феврале явления связана с близостью к нам БМО (оно расположено на расстоянии 50—55 кпк) и редкостью вспышек сверхновых. Исходя из известного количества остатков сверхновых в БМО и времени их жизни, можно получить, что сверхновые вспыхивают в этой галактике примерно раз в 300 лет. Вполне возможно, что еще не одно поколение астрономов будет при изучении сверхновых опираться на полученные сейчас данные[2]. Взрыв сверхновой, согласно теории,— это конец фазы эволюции звезды, когда после истощения источников ядерного топлива наступает ее гравитационный коллапс, сопровождаемый мощным излучением нейтрино и гравитационных волн. Понятно поэтому волнение, которым были охвачены не только астрономы, но и физики, узнав о произошедшем событии. Близкое расположение к нам сверхновой давало надежду обнаружить эти виды излучения; однако, к сожалению, уверенности в том, что удалось зарегистрировать нейтринное и тем более гравитационное излучения, в настоящий момент нет. (В первых научных сообщениях стук сердца исследователя был, по-видимому, принят за топот копыт долгожданного вестника...) Всплески нейтринного излучения вполне могут быть не связаны со сверхновой, и только совпадение времени их прихода заставляет исследователей что-то подозревать; выясняется, однако, что точность регистрации времени была не очень высока. На начало марта не обнаружено и рентгеновское излучение, которого, надо сказать, теоретики и не ожидали на данной стадии вспышки.

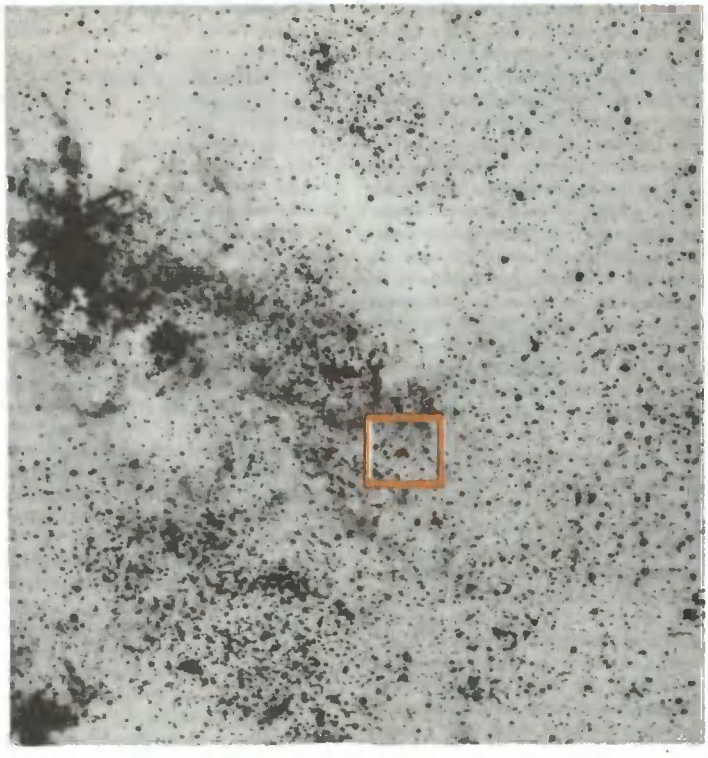
Согласно данным оптических наблюдений, максимального блеска (4^m) звезда достигла 27 февраля и с тех пор медленно угасает. В спектре ее излучения наблюдались широкие эмиссионные линии, свидетельствующие о том, что скорость расширения сброшенной звездой оболочки доходила до 17 000 км/с; вид спектра указывал на принадлежность звезды к сверхновым II типа. Поскольку расстояние до БМО равно 50 кпк, то отсюда следует, что абсолютная величина[3] SN 1987 A в максимуме блеска составляла около -15^m; это на две-три звездные величины слабее, чем у типичных сверхновых II типа, но на 5^m (т. е. в 100 раз) больше, чем у самых ярких новых звезд. Принадлежность звезды к БМО однозначно доказывается наблюдающимися в ее спектре линиями поглощения межзвездного газа; они имеют лучевую скорость 270 км/с; именно такая скорость наблюдается у газовых облаков БМО.

Близкое расположение БМО позволяет проверить гипотезу о происхождении сверхновых II типа из массивных звезд высокой светимости и впервые в истории дает надежду установить, какие именно звезды взрываются как сверхновые. Иными словами, можем ли мы ожидать

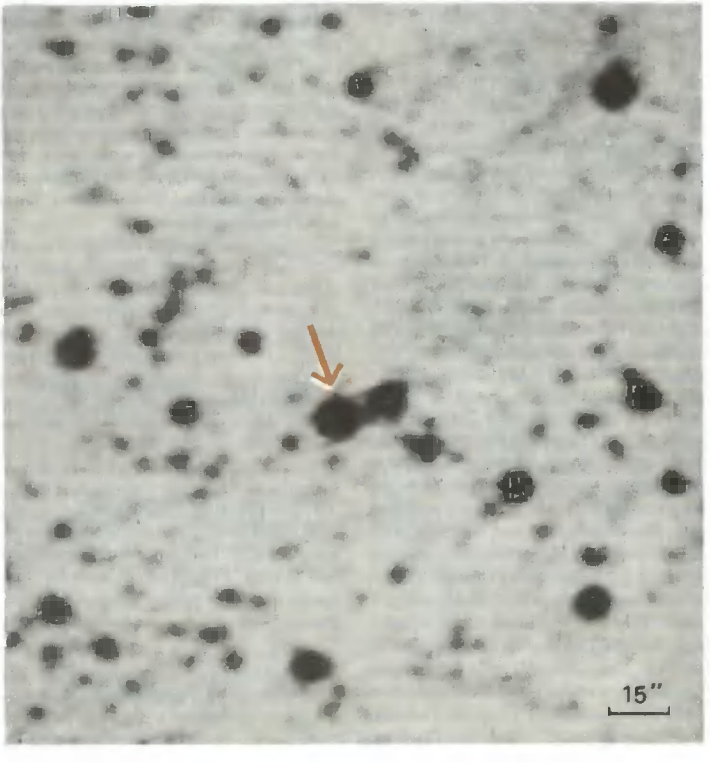
[1] Астрономический циркуляр. 1987. № 1483; Циркуляр Международного астрономического союза. 1987. № 4319—4327.

[2] В нашей Галактике сверхновые должны вспыхивать раз в 30—50 лет, но поглощение света в экваториальной плоскости, где концентрируются звезды, порождающие сверхновые, мешает их обнаружению. Сверхновая 1604 г. была последней из зарегистрированных.

[3] Имеется в виду видимая звездная величина, которую звезда имела бы на расстоянии 10 пк.



Участок звездной сверхассоциации 30 Золотой Рыбы в БМО. Сверхновая вспыхнула на северо-западной окраине сверхассоциации, в пределах ассоциации A90-NGC 2044 (отмечено квадратом). В левом верхнем углу видна гигантская туманность Тарантул размером 250 пк.



Звезда Sanduleak-69°202 — возможная предсверхновая (показана стрелкой).

от таких звезд, как Ригель, Полярная или Бетельгейзе, вспышки ярче миллиарда Солнц? На ряде обсерваторий, в том числе и в ГАИШе, сразу же было замечено, что на месте Сверхновой 1987 A до вспышки была звезда Sanduleak-69°202, внесенная в спектральный каталог звезд БМО (составленный американским астрономом Н. Сендьюликом). Это голубой сверхгигант массой около 40 $M_\odot$, его показатели цвета полностью с этим согласуются.

По имеющимся в ГАИШе фотопластинкам БМО, полученным на 70-сантиметровом менисковом телескопе станции Пулковской обсерватории, работавшей в Чили, мы определили блеск звезды в синих лучах; он составил $12^m.2 \pm 0^m.2$ (1967 г.), а в желтых — $12^m.35 \pm 0^m.1$ (1970 г.). Ю. А. Шокин и Н. М. Евстигнеева установили координаты голубого сверхгиганта с точностью до $\pm 0''.1$; они совпадают с координатами сверхновой в пределах $\pm 0''.3$. Казалось бы, можно утверждать, что вспыхнул именно голубой сверхгигант. Однако уже в начале марта в спектре сверхновой как-будто бы появились признаки его присутствия. Случайная проекция какой-то другой предсверхновой на этот голубой сверхгигант представляется маловероятной, и мы должны сделать вывод, что либо со сверхгигантом при вспышке ничего не произошло

и была лишь сброшена его оболочка (что было бы очень странно), либо вспыхнул так называемый физический компонент сверхгиганта примерно с той же температурой (т. е. мы имеем дело с двойной звездной системой). Этим компонентом могла бы быть звезда Вольфа — Райе (WR), существенно более слабая, чем голубой сверхгигант, который мог в этом случае помешать заметить присутствие характерных для звезд WR эмиссионных линий. Такие двойные системы действительно наблюдаются. Ближайшие к голубому сверхгиганту звезды WR действительно на $1^m,5$—3^m слабее его.

Однако по данным на середину апреля 1987 г. следы голубой звезды в спектре сверхновой обусловлены не пережившим ее вспышку голубым сверхгигантом, а более слабой звездой, находящейся примерно в $2''$ от нее. После того как в течение двух недель блеск сверхновой оставался почти постоянным, он стал медленно возрастать и к середине апреля достиг $3^m,6$ (в желтых лучах). Светимость ее приблизилась к нормальной для сверхновых II типа.

Итак, сверхновая вспыхнула в гигантском комплексе горячих массивных звезд высокой светимости и ионизованного водорода — сверхассоциации 30 Золотой Рыбы. Диаметр сверхассоциации около 1 кпк; в нее входит два десятка предельно молодых скоплений и ассоциаций. Сверхновая вспыхнула на окраине одной из таких группировок — NGC 2044, в ядре которой известно три звезды WR. Звезды этого типа сильнее, чем какие-либо другие, тяготеют к сверхассоциациям — и в БМО, и в других галактиках. Это, равно как и нестационарность звезд WR, указывает на то, что такие молодые массивные звезды находятся на пороге устойчивости, на поздней стадии эволюции. В последнее время накапливается все больше данных, подтверждающих, что и вспышки сверхновых II типа тоже, как правило, происходят в сверхассоциациях.

Ю. Н. Ефремов,
доктор физико-математических наук
Москва

Астрофизика

Солнечная радиация уменьшилась

Измерения, выполненные в начале 80-х годов приборами, установленными на борту спутника «SMM», впервые указали на то, что интенсивность солнечного излучения понижается со временем. Произведенные затем наблюдения с помощью аппаратуры, установленной на ракетах, шарах-зондах и спутнике «NIMBUS-7», подтвердили этот результат.

Анализ собранных за пять лет наблюдений (1980—1985) выполнен группой Р. Уилсона (R. Wilson; Лаборатория реактивного движения при Станфордском университете, США). Установлено, что общая интенсивность солнечного излучения снижалась в течение этого периода в среднем на 0,019 % в год. За весь указанный период величина излучения уменьшилась примерно на 0,1 %. В разрабатывавшихся ранее прогнозах солнечной активности наличие таких вариаций не учитывалось.

Если бы подобное уменьшение солнечного излучения происходило непрерывно, его было бы достаточно, чтобы вызвать в климате Земли весь тот спектр изменений, который наблюдался в геологическом масштабе времени.

Однако реальной опасности для климата Земли наблюдаемые колебания, по-видимому, не представляют, так как они точно совпадают с известным уменьшением магнитной активности на Солнце. Это говорит о связи обоих явлений с 11-летним циклом солнечной активности.

Период максимума в последнем цикле пришелся на 1979—1980 гг. Тенденция к ослаблению солнечного излучения была свойственна почти половине этого 11-летнего цикла. По-видимому, она должна прекратиться в последующем цикле.

Science. 1986. Vol. 234. P. 1114(США); New Scientist. 1986. Vol. 112. № 1538. P. 28 (Великобритания).

Астрономия

Телескоп субмиллиметрового диапазона

В декабре 1986 г. приступил к пробной работе телескоп Королевской Эдинбургской обсерватории (Шотландия), расположенный на горе Мауна-Кеа на о. Гавайи. Параболическая антенна телескопа имеет диаметр 15 м; она состоит из 276 отдельных панелей, перемещающихся независимо. Такая конструкция позволяет придавать поверхности требуемую форму с необходимой точностью. Принципиальная новизна инструмента заключается в том, что он с большой разрешающей способностью регистрирует излучение в субмиллиметровом диапазоне (длины волн от 0,3 до 1,0 мм), лежащем между радио- и инфракрасным диапазонами спектра. Высокой чувствительности способствует то, что телескоп находится на высоте 4200 м над ур. м., т. е. выше того слоя воздуха, в котором заключена основная часть атмосферной влаги, препятствующей прохождению субмиллиметровых волн.

Телескоп регистрирует излучение, поступающее из тех районов Вселенной, которые закрыты от наблюдателя слоем космической пыли. Тем самым, ему доступны интересующие астрофизиков области, где происходят процессы перемещения гигантских газовых облаков и образования новых звезд.

В первые дни работы на этом телескопе, которому присвоено имя выдающегося английского физика Дж. К. Максвелла, проведены наблюдения Луны, Юпитера и Марса и зарегистрировано излучение в спектральной полосе окиси углерода, приходящее из туманности Ориона.

Это — крупнейший и наиболее совершенный инструмент данного типа из имеющихся в настоящее время. Кроме британских исследователей, на нем будут работать также астрономы других стран, в частности Нидерландов.

New Scientist. 1986. Vol. 112.№1539. P. 8 (Великобритания).

Физика

Существует ли пятая сила?

Американские исследователи Е. Фишбах, Д. Сударский, А. Зейфер, К. Тэлмэдж (E. Fischbach, D. Sudarsky, A. Szafer, K. Talmadge; Университет Пердью) и С. Аронсон (S. H. Aronson; Брукхейвенская национальная лаборатория) проанализировали известный эксперимент Р. Этвеша по проверке принципа эквивалентности Эйнштейна, в котором равенство гравитационной и инертной масс тел было подтверждено с точностью 10^{-8}, независимо от состава тел.

Исследователи обратили внимание на то, что хотя ускорение свободного падения тел с большой точностью не зависит от их химического состава, тем не менее существуют слабые (на уровне 10^{-8}) отклонения от этого универсального закона, которые не могут быть объяснены неточностью эксперимента. Самое интересное, что отличие ускорения свободного падения от константы пропорционально барионному числу исследуемых веществ, причем с атомным весом подобная корреляция отсутствует[1].

Объяснить этот эффект можно было бы, предположив существование нового (пятого) типа взаимодействия, источником которого является барионный заряд. Это взаимодействие должно быть в 10^5 раз слабее гравитационного и описываться потенциалом типа потенциала Юкавы с характерным радиусом убывания $4 \cdot 10^9$ м, что только в 15 раз меньше радиуса орбиты Меркурия. Знак потенциала взаимодействия соответствует притяжению одноименных зарядов; переносчиками взаимодействия могут быть скалярные или тензорные частицы с массой покоя $5 \cdot 10^{-17}$ эВ.

Заметим, что значение $4 \cdot 10^9$ м не определяется непосредственно из анализа эксперимента Этвеша, а получается из согласования обнаруженного эффекта со всей совокупностью современных данных по измерению гравитационной постоянной в лабораториях и в Солнечной истеме. Например, радиус взаимодействия, превышающий 10^{10} м, противоречит наблюдениям прецессии перигелия Меркурия, Марса, а также эксперименту советских физиков В. Б. Брагинского и В. И. Панова по проверке принципа эквивалентности[2], в котором сравнивались ускорения свободного падения тел в гравитационном поле Солнца и принцип эквивалентности был подтвержден с точностью 10^{-12}. Величина меньше 10^9 м противоречит данным о движении Луны, искусственных спутников Земли, прецессии орбиты двойного пульсара 1913+16 и др.

Правда, некоторые исследователи высказывают опасение, что подобный эффект зависимости отклонения крутильных весов в эксперименте Этвеша от плотности тел мог возникнуть из-за температурных градиентов в приборе, хотя Этвеш в своем эксперименте старался устранить этот и другие систематические эффекты. Видимо, потребуется улучшенная постановка этих экспериментов для выяснения существования зависимости ускорения свободного падения тел на Землю от их барионного числа.

А. И. Зельников,
кандидат физико-математических наук

Москва

Физика

Светоиндуцированные периодические структуры в пленках

Образование светоиндуцированных периодических структур из микрозерен серебра в виде штрихов длиной 1 мкм, группирующихся в домены по 20—50 штрихов в каждом, наблюдали ученые Харьковского государственного университета им. М. Горького. Структуры возникали внутри и на поверхности пленки хлористого серебра толщиной 100—200 нм, нанесенной на подложку из диэлектрика или металла и покрытой сверху тонким (толщиной 10—15 нм) слоем металлического серебра.

Индуцирующим полем служило электрическое поле линейно-поляризованного излучения гелий-кадмиевого лазера с длиной волны 442 нм. Вектор напряженности поля ориентировался параллельно облучаемой поверхности; угол падения луча менялся от 0 до 70°.

Энергия фотонов была такова, что разложения хлористого серебра под действием света не происходило, но в зернах серебра наблюдался фотоэффект. Домены, зарегистрированные в электронный микроскоп, были ориентированы перпендикулярно поверхности хлористого серебра, а штрихи, состоявшие из скоплений микрогранул серебра, располагались вдоль вектора электрического поля.

Экспериментальные данные находятся в согласии с теорией, рассматривающей эти периодические структуры как результат перераспределения ионов Ag^+ в пленке хлористого серебра под действием локальных электрических полей. Поля создаются скоплениями фотоэлектронов, выбитых из зерен серебра и захваченных различного рода ловушками в хлористом серебре. Пленка AgCl вместе с подложкой и поверхностным слоем представляет собой волновод для отраженного и рассеянного лазерного излучения. Возникающие при интерференции отраженного излучения стоячие световые волны имеют пространственную конфигурацию, определяемую толщиной пленки, ее оптико-физическими свойствами, длиной волны излучения и углом падения на поверхность.

Выяснилось, что пространственный период и общая картина периодических структур совпадают с аналогичными параметрами отдельных стоячих

[1] Rújula A., De. On weaker forces than gravity. Preprint CERN-TH. № 4515. 1986.

[2] Брагинский В. Б., Панов В. И. Проверка принципа эквивалентности // Природа. 1971. № 11, С. 43—49.

волн (мод). Фотоэффект из зерен серебра наиболее интенсивен в пучностях этих мод, а захват фотоэлектронов ловушками, наоборот,— в узлах. Захваченные электроны и создавали локальные электрические поля, под влиянием которых ионы серебра, обладающие большой подвижностью, скапливались в узлах стоячих волн.

Известия АН СССР. Сер. физ. 1986. Т. 50. № 8. С. 1605—1608.

Физика

Новый тип электронно-дырочной плазмы

Как известно, под воздействием внешнего излучения в полупроводниках может происходить образование экситонов, представляющих собой связанное состояние электрона и дырки, подобное в некотором смысле атому водорода. С ростом интенсивности излучения и при достаточно низких температурах газ экситонов уступает место электронно-дырочной жидкости, капли которой удается непосредственно увидеть с помощью электронного микроскопа.

Изучая спектры люминесценции кремния, Л. Смит и Дж. Вольф (L. Smith, J. Wolf; Университет штата Иллинойс, Урбана, США), пришли к выводу, что кроме обычной электронно-дырочной жидкости при определенных условиях возникает другой (промежуточный) тип плазмы, плотность которой примерно в десять раз меньше (около $2{,}7 \cdot 10^{17}$ см$^{-3}$). Эта электронно-дырочная плазма наблюдалась при температуре 28 К, которая превышает температуру конденсации для обычной электронно-дырочной жидкости ($T_к \approx$ $\approx$24 К). Образование нового типа электронно-дырочной плазмы начинается при температуре около (45±5) К.

То обстоятельство, что данный тип плазмы низкой плотности не был обнаружен ранее, авторы объясняют тем, что спектр люминесценции нужно изучать лишь спустя 150 нс после импульса возбуждения. Это время требуется для установления равновесного состояния плазмы; во всех же предыдущих исследованиях спектры снимались раньше.

Physical Review Letters. 1986. Vol. 57. № 18. P. 2314—2316 (США).

Физика

Охлаждение атомного пучка излучением

В Лаборатории спектроскопии им. Г. Герца Высшей нормальной школы (Париж, Франция) проведено охлаждение пучка атомов цезия за счет их резонансного излучения в поле интенсивной стоячей световой волны. В результате тепловая скорость атомов в направлении, перпендикулярном оси пучка, уменьшалась примерно с 2 м/с до 20 см/с. В основе механизма торможения лежит когерентное резонансное взаимодействие атомов с полем волны при одновременном спонтанном их излучении (эффект резонансной флуоресценции).

Частота стоячей волны была близка к частоте выделенного условиями эксперимента атомного перехода в цезии. В узле стоячей волны атом обладает минимальной потенциальной энергией. Поскольку полная энергия системы «атом+ +поле стоячей волны» при взаимодействии атома с этой волной сохраняется, то, перемещаясь к пучности, атом увеличивает свою потенциальную энергию и уменьшает кинетическую, т. е. его скорость падает. Кроме того, проходя пучность волны и взаимодействуя с вакуумом свободного поля излучения, атом может спонтанно «высветить» фотон флуоресценции, уменьшив, таким образом, свою полную энергию, а следовательно, и скорость. При этом поглощается фотон поля стоячей волны. Одновременное действие этих процессов приводит к перекачке энергии от системы «атом+поле стоячей волны» к полю резонансной флуоресценции и результирующему замедлению атомов в их движении вдоль стоячей волны.

Но для работы описанного механизма необходимо, чтобы излучение фотона флуоресценции успевало произойти за время τ, в течение которого атом проходит пучность. Другими словами, должно выполняться неравенство: $\tau \sim \lambda/v \geqslant \gamma^{-1}$, где λ — длина стоячей волны, v — характерная скорость поперечного движения, γ — ширина линии спонтанного излучения.

В ходе эксперимента выяснилось, что в силу специфики взаимодействия можно, варьируя величину расстройки между частотой лазерного излучения и атомного пучка $\delta = \omega_{лаз} - \omega_{ат}$, переходить от охлаждения пучка при $\delta \geqslant 0$ к его разогреву ($\delta < 0$).

По мнению авторов, предложенный метод имеет ряд преимуществ по сравнению с оптическим охлаждением атомов световым давлением. К таким преимуществам можно отнести на порядок меньшее время охлаждения и увеличение эффективности охлаждения с ростом мощности лазера (оптическое охлаждение имеет тенденцию к насыщению).

Кроме того, в работе предсказана возможность (экспериментально, правда, еще не подтвержденная) эффекта «каналирования» атомов: за время около 10^{-4} с они могут собираться в «каналах» внутри пучностей, отстоящих друг от друга на расстоянии $\lambda/40$ (в условиях проведенного эксперимента). Атомы можно также эффективно замедлять при их движении вдоль стоячей волны до полной остановки на расстоянии в 10 см (если интенсивность лазерного излучения примерно равна 100 мВт/мм^2).

Physical Review Letters. 1986. Vol. 57. № 14. P. 1688—1690 (США).

Техника

Альтернативные источники энергии

В США выделяются дополнительные средства на научные исследования по использованию геотермальной энер-

гии. В Калифорнии, в районе оз. Солтон-Си пробурена скважина глубиной 3 км и получены пробы соленой воды, имеющей температуру 355 °С — самую высокую среди всех известных геотермальных источников. Расход воды в скважине составляет примерно 6000 л/мин. Запланировано довести глубину скважины до 5 км, что позволит изучить интрузию (внедрение) магмы или расплавленной породы, нагревающих водоносный слой.

Исследователи из Лос-Аламосской национальной лаборатории предложили использовать не только тепло подземных термальных вод, но и подземных горячих горных пород. Летом 1986 г. была испытана мощная система подобного рода: в штате Нью-Мехико пробурили скважину глубиной 4,6 км, через которую прокачивали воду с расходом около 1100 л/мин. Вода нагревалась до 190 °С, что соответствует 10 МВт тепловой энергии.

Таким образом, удалось создать новый вариант геотермальной энергоустановки, доступной для использования в любом месте земного шара. В ближайшее время предполагается увеличить мощность подобных систем до 20 МВт (тепл.), что соответствует 4 МВт (эл.)

New Scientist. 1986. Vol.111. № 1518. P. 22—23 (Великобритания).

Биофизика

Пьезоэлектрический улавливатель запахов

Американские исследователи, возглавляемые Г. Гибо (G. G. Guilbault; Университет в Новом Орлеане), показали, что с помощью пьезоэлектрического кристалла кварца можно улавливать ничтожные количества определенных веществ, находящиеся в воздухе. Для этого на поверхность кристалла наносят специфичные к искомым веществам белки (антитела, ферменты и др.). Новые датчики были успешно использованы для измерения весьма малых концентраций — ниже $3{,}6 \cdot 10^{-10}$ — пестицида паратиона.

На поверхности кристалла кварца прикрепили два электрода, покрытые антителами, специфичными к паратиону. Пропущенный через электроды электрический ток заставлял кристалл колебаться с определенной частотой. При попадании легчайшего воздушного потока, несущего частицы пестицида, на кристалл молекулы паратиона связываются с антителами покрытия. В результате кристалл становится толще, и частота его колебаний меняется. Разность частот позволяет измерить концентрацию вещества в воздухе.

Антитела сохраняются на поверхности кристаллов в течение нескольких недель. После использования такого датчика можно восстановить его изначальное состояние под струей чистого воздуха, разрушающей связь молекул-«антигенов» с антителами. Авторы уверены, что новые датчики способны определять в воздухе незначительные количества пестицидов или наркотиков, не улавливаемые собачьим чутьем. Кроме того, метод позволяет исследовать взаимодействие антиген — антитело в воздухе, а не в растворах, как его изучают обычно.

Journal of the American Chemical Society. 1986, Vol. 108. № 18. P. 5444—5447 (США).

Молекулярная биология

Еще одна функция РНК

Исследователи из Отделения молекулярной биофизики и биохимии Йельского университета (США) и Карлсбергской лаборатории физиологии (Дания), возглавляемые Д. Солем (D. Söll), установили, что помимо своей главной функции — доставки к рибосомам для синтеза белков нужных аминокислот — транспортная РНК (тРНК) способна действовать как кофактор (т. е. молекула, необходимая для проявления определенным ферментом каталитической активности).

На одном из этапов синтеза хлорофилла в хлоропластах зеленых растений аминокислотный остаток глютаминовой кислоты (глютамат) восстанавливается до глютамат-1-полуальдегида. Выяснилось, что в эту реакцию, катализируемую ферментом дегидрогеназой, вступает не свободный глютамат, а связанный с одной из трех специфических для него форм тРНК (глютамил-тРНК).

Выполняющая роль кофермента глютамил-тРНК отличается от двух других форм тем, что содержит 5-метиламинометил-2-тиоуридин в первом положении антикодона (особого участка тРНК, отвечающего, по-видимому, за узнавание «своей» аминокислоты)[1]. Возможно, модификация антикодона препятствует участию этой формы тРНК в синтезе белков, тем самым освобождая ее для коферментативной деятельности.

Nature. 1986. Vol. 322. № 6076. P. 281—284 (Великобритания).

Молекулярная биология

Дивидин — белок пролиферации

Предположение о том, что злокачественная трансформация клеток может быть результатом несвоевременной экспрессии нормальных генов, побудило многих исследователей искать белки, контролирующие размножение (пролиферацию) нормальных и трансформированных клеток. Эту функцию должны, очевидно, выполнять белки, которые синтезируются клеткой только во время митотического цикла. Й. Целис и С. Нильсен (J. E. Celis, S. Nielsen; Университет в Орхусе, Дания) обнаружили в ядре делящихся клеток фосфопротеин с молекулярным весом 54 000 Д, названный ими дивидином. По ряду характеристик дивидин отличается от белковых продуктов онкогенов.

Примененная авторами методика позволила разделить

[1] См. подробнее: Киселев Л. Л. Двойная жизнь антикодона // Природа. 1986. № 12. С. 88—92.

трансформированные клетки человека на группы, каждая из которых находилась на определенной стадии митотического цикла, и сопоставить белковый состав клеток на разных стадиях. Выяснилось, что синтез дивидина (выделенного и идентифицированного среди многих сотен других белков) начинается только через 10 часов после митоза, а максимальной интенсивности достигает лишь через 18 часов. Это соответствует по времени фазе синтеза ДНК в клетке. До этой фазы и после нее дивидина в клетке нет.

Эксперименты с нормальными клетками также показали, что в состоянии пролиферативного покоя клетки не синтезируют дивидин. Однако при стимуляции деления в культурах фибробластов и других клеток белок появлялся через 18 часов после стимуляции. Функции дивидина еще не выяснены, но есть все основания полагать, что он играет (как и другой недавно открытый белок — циклин) важную роль в клеточном цикле. Только эти два белка из многих сотен других синтезируются в клетке одновременно с ДНК.

Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA. 1986. Vol. 83. № 21. P. 8187—8190 (США).

Генетика

Межвидовые различия в уровнях мутации

Единственным поставщиком новых генов на «рынок» эволюции является мутационный процесс. Для оценки темпов возникновения мутаций наиболее удобной моделью служат нейтральные мутации, не оказывающие влияния на приспособленность и потому не подлежащие действию отбора. Недавние исследования в разных лабораториях показали, что на нынешнем этапе развития животного мира межвидовые различия в уровне мутаций достигают 500 %. Темпы мутирования наиболее высоки у грызунов, морских моллюсков и некоторых видов птиц. Оказалось, что эволюция приматов, в том числе человека, сопровождалась снижением мутационного уровня, причем у приматов он в настоящее время самый низкий.

Высказаны две гипотезы, объясняющие это явление. Причиной его может быть изменение характера воспроизведения, направленное на сохранение каждой особью своего малочисленного потомства. Так как большинство мутаций вредны, отбор в такой ситуации благоприятствовал снижению уровня мутационного процесса. С другой стороны, могло произойти скачкообразное изменение процессов репликации и репарации ДНК. Получить правильный ответ помогут дальнейшие исследования.

Science. 1986. Vol. 231. № 4744. P. 1393—1398 (США).

Биотехнология

Синтетические полипептиды в диагностике СПИДа

Выявить больных СПИДом или носителей вызывающего это заболевание ретровируса HIV можно по наличию в крови специфических антител к вирусу. Для этого разработаны диагностические наборы, которые регистрируют иммуноферментную реакцию этих антител с антигенами из разрушенных частиц вируса, содержащихся в наборах. Сотрудники Института иммунологии Министерства здравоохранения СССР во главе с Р. В. Петровым использовали в качестве антигенного компонента при иммуноферментном анализе синтетические полипептиды, соответствующие белковым продуктам основных структурных генов env и gag вируса HIV.

Синтез фрагментов полипептидной цепи был проведен методами пептидной химии по данным о структуре генов env и gag и их продуктов. Затем авторы проверили взаимодействие антител к вирусу HIV с синтетическими полипептидами и, параллельно, с антигенами из диагностического набора голландской фирмы «Органон».

Синтетические полипептидные антигены группы GAG обеспечили практически те же результаты, что и коммерческий набор, при тестировании сывороток крови, содержащей антитела. Таким образом, система диагностики СПИДа с помощью синтетических антигенов должна стать надежным и, главное, безопасным средством обнаружения возбудителя СПИДа.

Иммунология. 1986. № 5. С. 80—81.

Биохимия

Инсулиноподобный фактор роста

Э. Цвайвиллер с сотрудниками (E. Scweiwiller; госпиталь Цюрихского университета, Швейцария) выяснили, что у инсулина есть в организме молекулярный двойник — инсулиноподобный фактор роста (ИФР1). Оба белка образуются из одного предшественника, весьма схожи по структуре и связываются со сходными рецепторами. Оба, наконец, служат стимуляторами роста.

При введении крысам с ослабленным ростом человеческого ИФР1 рост животных возобновлялся, причем даже без восстановления нормального уровня сахара в крови. Оказалось, что содержание в крови ИФР1 регулируется концентрацией соматотропина и инсулина, а также диетой и режимом питания.

Таким образом, выявлен еще один эндокринный механизм, контролирующий рост организма. Авторы полагают, что ИФР1 непосредственно стимулирует рост на клеточном уровне, а соматотропин и инсулин лишь регулируют синтез этого фактора в клетках печени. Это подтверждается тем, что инсулин действует на рост не прямо, а за счет увеличения синтеза ИФР1.

ИФР1 может стать мощным средством заживления ран, что позволит отказаться от применения инсулина с его нежелательными побочными эффектами. Он также может использовать в исследованиях сложнейших клеточных процессов

пролиферации и дифференцировки.

Nature. 1986. Vol. 323. № 6084. P. 169—172 (Великобритания).

Иммунология

Моноклональные антитела против ретровируса

Работы по созданию вакцины против ретровируса HIV, вызывающего СПИД, связаны с воздействием на вирус до того, как тот попадает из крови в клетку. Вирус пытаются нейтрализовать за счет реакции моноклональных антител с белками его оболочки. Такой подход сложен из-за высокой генетической изменчивости поверхностных белков вируса[1]. Американские исследователи во главе с А. Голдстейном (A. L. Goldstein; Национальный институт рака в Бетесде, Вашингтонский университет) предложили вмешаться в процессы вирусного цикла, протекающие внутри зараженной клетки, и атаковать моноклональными антителами белок внутренней части вируса (нуклеокапсида).

Исследуя содержание в крови больных СПИДом пептидного гормона тимозина, авторы обнаружили, что моноклональные антитела к тимозину связываются с одним из белков вируса HIV. Оказалось, что этот белок (продукт гена gag) очень похож на тимозин. Больше того, в зараженных клетках моноклональные антитела к тимозину блокировали размножение вируса.

Важно, что продукт гена gag располагается в нуклеокапсиде, защищенном от действия внешних агентов вирусной оболочкой. Как антитела к тимозину отыскивают белок и на каком этапе вирусного цикла это происходит, пока неизвестно, но это не мешает приступить к разработке вакцины с их помощью. Авторы предполагают, что вакцина против продукта гена gag может стать надежным и эффективным оружием в борьбе со СПИДом. Необходимо только предотвратить возможную реакцию с тимозином: ведь вакцина должна нейтрализовать вирус, а не мешать гормону хозяина.

Science. 1986. Vol. 232. № 4754. P. 1135—1137 (США).

[1] См.: Частота мутаций ретровируса //Природа. 1987. № 4. С. 100.

Иммунология

Стимулятор В-лимфоцитов

Чтобы В-лимфоциты начали образовывать антитела к попавшему в кровь антигену, их стимулируют особые растворимые вещества, вырабатываемые Т-лимфоцитами сразу после контакта с антигеном. Т. Кишимото с сотрудниками (T. Kishimoto; Университет г. Осака, Япония) выяснили природу одного из таких стимуляторов, вызывающих созревание В-лимфоцитов,— фактора BSF-2.

Авторам удалось вырастить линию Т-лимфоцитов, вырабатывающих большое количество фактора BSF-2, что позволило получить его в чистом виде. BSF-2 оказался белком с молекулярной массой 21 000 Д, состоящим из 184 аминокислотных остатков. По первичной структуре он схож с фактором, стимулирующим иные клетки крови — гранулоциты, но отличается от всех других известных ныне белков.

Выяснилось, что синтез этого белка может вести и к патологическим явлениям. При определенных условиях клетки миксомы и опухоли мочевого пузыря выделяют большое количество BSF-2, а у больных с миксомами часто наблюдаются симптомы, характерные для аутоиммунных заболеваний. Вполне вероятно, что избыток BSF-2 обусловливает развитие у больных этих симптомов. Авторы предполагают, что причиной ряда аутоиммунных процессов может служить чрезмерный синтез стимуляторов клеток, ответственных за иммунный ответ.

Nature. 1986. Vol. 324. № 6092. P. 73—76 (Великобритания).

Медицина

Общий механизм развития рака и атеросклероза

Данные ряда исследований говорят о том, что в основе развития злокачественных опухолей и атеросклероза — одного из наиболее распространенных сердечно-сосудистых заболеваний — могут лежать сходные молекулярные механизмы. Э. Пэн с сотрудниками (A. Pen; Медицинский центр при Университете Нью-Йорка, США) экспериментально подтвердили гипотезу, согласно которой атеросклеротические бляшки — это доброкачественные опухоли, развивающиеся в гладких мышцах сосудов из-за генетических изменений в клетках.

Чтобы вызвать такие изменения, авторы вводили в фибробласты (клеточные зародыши соединительной ткани) человека ДНК из атеросклеротических бляшек,— такая операция называется трансфекцией. После нее фибробласты уменьшались в размере и становились более округлыми. С помощью ДНК, выделенной из трансфицированных клеток, были вновь получены фибробласты с измененной морфологией. Важно отметить, что ДНК из непораженных атеросклерозом клеток не способна вызвать генетических изменений, а эффективность трансфекции ДНК из атеросклеротических бляшек та же, что и у ДНК из злокачественных опухолей человека.

В следующей серии экспериментов ДНК из бляшек, использованную для трансфекции фибробластов, вводили мышам, что вызывало образование опухолей, схожих с фибросаркомой, злокачественной опухолью соединительной ткани. Специальными опытами авторы доказали, что развитие у мышей опухоли не связано с активацией онкогенов в клетках ткани, а обусловлено именно трансфекцией чужеродной ДНК.

Авторы предполагают, что ДНК из бляшек коронарной артерии человека содержат ген (или гены), способные вызывать злокачественную трансформа-

цию тканей. Эти гены, по их мнению, участвуют и в трансформации клеток бляшки.

Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA. 1986. Vol. 83. № 10. P. 7951—7955 (США).

Медицина

Липосомы лечат кислородное голодание

При недостатке кислорода во вдыхаемом воздухе постепенно растет толщина того слоя легочных клеток, который соприкасается с воздухом (аэрогематического барьера). Это затрудняет диффузию кислорода через барьер и ведет к отеку легких. Сотрудники Института физиологии им. А. А. Богомольца и Института биохимии им. А. В. Палладина АН УССР под руководством В. К. Лишко предложили лечить поврежденные при кислородном голодании (гипоксии) мембраны легочных клеток с помощью липосом — липидных шариков, приготовленных из компонентов клеточных мембран.

Две группы крыс дышали гипоксической смесью, содержавшей всего 7 % кислорода в азоте. 30 минут спустя крысам подопытной группы внутривенно ввели липосомы в расчете 2—20 мг на 100 г веса. По истечении 90 минут у животных обеих групп исследовали основные показатели дыхания и газообмена, а также морфологические изменения легочной ткани. У всех крыс контрольной группы отмечены отеки и кровоизлияния в легких, падение скорости потребления кислорода на 50—60 %. 52 % животных погибли. У крыс подопытной группы патологические изменения легких были незначительны или вообще отсутствовали. Толщина аэрогематического барьера была в среднем на 37 % ниже, чем у крыс контрольной группы. Смертность составила 18 %.

Лечебный эффект связан, по мнению авторов, со способностью липосом встраиваться в мембраны легочных клеток, увеличивая тем самым их проницаемость для O_2 и, следовательно, эффективность потребления кислорода в дыхательном цикле.

Доклады АН СССР. 1986. Т. 291. № 4. С. 1022—1024.

Биология

Мозг за тысячелетия не изменился

Во время раскопок в округе Бревард (штат Флорида, США) обнаружены костные остатки примерно 40 людей, живших около 8 тыс. лет назад. Наибольший интерес специалистов привлекла сохранившаяся в условиях торфяника на дне мелководного пруда мозговая ткань в черепных коробках пяти особей. Это — первый случай, когда в руки исследователей попадает столь значительное количество мягких тканей древнего человека.

Изучавшая находку группа специалистов из Университета штата Флорида (Таллахасси) и из Медицинского колледжа при Флоридском университете (Гейнсвилл), возглавляемая антропологом Г. Дораном (G. Doran), установила, что ткани принадлежали четырем молодым мужчинам и одной женщине средних лет. Использовав традиционную анатомическую методику, а также построив компьютерные изображения, они пришли к заключению, что мозг древнего человека, если не считать некоторого естественного со временем уменьшения в объеме, не отличается от мозга людей XX в. Выделив хорошо сохранившуюся ДНК, исследователи намерены клонировать гены людей каменного века, чтобы сопоставить их со структурой генов современного человека.

Nature. 1986. Vol. 323. P. 808; New Scientist. 1986. Vol. 112. № 1533. P. 35 (Великобритания).

Биология

Регуляция пола у перепончатокрылых

Характерной особенностью отряда перепончатокрылых насекомых, к которому принадлежат как общественные (муравьи, пчелы, осы), так и одиночные виды, является своеобразное генетическое определение пола: из оплодотворенных яиц выводятся самки (с диплоидным набором хромосом), из неоплодотворенных — самцы (с гаплоидным набором). Спарившаяся самка хранит в сперматеке запас спермы и в зависимости от условий откладывает либо оплодотворенное, либо неоплодотворенное яйцо. Несомненно, без такой регуляции невозможно существование семей общественных перепончатокрылых, состоящих в основном из самок-рабочих. Важную роль играет регуляция пола потомков и у одиночных видов.

Что же побуждает насекомое откладывать то оплодотворенное, то неоплодотворенное яйцо? В настоящее время можно назвать лишь некоторые стимулы. Один из них — уровень обеспеченности потомков пищей.

В популяции одиночной роющей осы (Cerceris arenaria), например, самки значительно различаются по размеру. Нет сомнений, что мелкие самки хуже обеспечивают потомство провизией, и тем не менее они, по-видимому, не элиминируются отбором. Как оказалось, мелкие самки производят больше сыновей, чьи репродуктивные функции не так сильно страдают от недостатка пищи на личиночной стадии[1]. Здесь с высокой степенью вероятности можно предположить, что откладывание осой неоплодотворенного яйца является реакцией на скудность сделанных запасов.

Нечто подобное наблюдается и у Lariophagus distinguendus — паразита, развивающегося на личинках жука-зерновки: на более мелких личинках в 95 % случаев развиваются самцы, а на более крупных — в 60 % случаев самки[2].

У многих паразитических перепончатокрылых в норме сильно преобладают самки. Так, у паразита Nesolynx albiclavus,

[1] Willmer P. G. //Behav. Ecol. and Sociobiol. 1985. Vol. 17. № 3. P. 151.

[2] Bellows T. S., Jr. // Res. Pop. Ecol. 1985. Vol. 27. № 1. P. 55.

развивающегося на куколках некоторых мух (в том числе и мухи це-це), самки составляют 96 %. Было выяснено, что у самки этого паразита, последовательно заражающей куколок хозяина, появление очередного неоплодотворенного яйца зависит как от общего числа яиц, отложенных после предыдущего неоплодотворенного яйца, так и от времени, прошедшего с этого момента. Какой механизм регуляции соотношения полов действует в данном случае, пока неясно. Отмечено, что при последовательном непрерывном заражении имеющихся в избытке хозяев первое «самцовое» яйцо чаще всего оказывалось шестым по счету, а следующее такое появлялось лишь через 10—20 яиц[3].

В некоторых случаях у перепончатокрылых наблюдаются сбои в определении пола. У паразита Pachycrepoideus vindemiae самец мог в эксперименте спариваться последовательно не более чем с девятью самками, при этом процент дочерей в их потомстве убывал от 70 до 0. В данном случае избыток сыновей определялся просто нехваткой спермы[4].

В. М. Карцев,
кандидат биологических наук
Москва

Биология

Жук-листоед уничтожает амброзию

Амброзия — один из самых вредных сорняков в культурных посевах очень многих стран. Ее пыльца, кроме того, вызывает массовые аллергические заболевания. У нас в стране амброзия засоряет огромные площади на юге Европейской части, в Закавказье, Казахстане, Приморском крае. Ущерб от нее в полеводстве превосходит ущерб от любого из однолетних сорняков, а при сильном засорении она может погубить весь урожай.

О. В. Ковалев и В. В. Вечернин (Зоологический институт АН СССР) разрабатывают биологический метод борьбы с двумя видами амброзии: однолетней полыннолистной (Ambrosia artemisiifolia) и многолетней (A. psilostachya). Поскольку на территории СССР естественных врагов у амброзии нет, из Канады в 1979 г. был завезен полосатый листоед (Zygogramma suturalis), родственник колорадского жука. Процесс расселения листоеда изучался в очагах распространения амброзии полыннолистной как на опытных участках института, так и в посевах сельскохозяйственных культур (в частности, эспарцета) в Ставропольском крае.

После того как популяция листоеда достигает по всему ареалу некой критической численности, движение вредителей по засоренному амброзией полю приобретает форму волны, названной исследователями уединенной популяционной волной. Она движется со скоростью около 3 м в сутки. Насекомые концентрируются в очень узкой полосе (длиной 1,5 км и шириной около 10 м), где их плотность достигает 5 тыс. особей на 1 м^2, а численность — около 10 млн. Засоренное поле после прохождения такой популяционной волны напоминает выгоревшую степь, при этом амброзия уничтожается до последнего растения. В отличие от химических и агротехнических методов, этот метод не наносит ущерба окружающей среде.

Эффективность биологического способа борьбы с амброзией такова, что урожай эспарцета на полях Ставропольского края вырос в 2—3 раза; в Краснодарском и Приморском краях, где были созданы колонии листоедов, амброзия уничтожена на 50—75 % уже в течение одного сезона.

Исследователи считают, что столь же эффективную популяционную волну можно получить и для популяции любого другого фитофага.

Экологическое обозрение. 1986. Т. LXV. Вып. 1. С. 21—38.

Зоология

Утконос принимает электрические сигналы

Группа ученых из Австралийского национального университета в Канберре и Дармштадтского технического университета (ФРГ), изучая поведение утконосов, обратили внимание, что в поисках пищи они кружат в воде над самым дном, держа при этом глаза, ноздри и уши закрытыми. Если где-то оказывалась креветка, они каким-то образом быстро обнаруживали ее. Однако так же реагировали утконосы и на помещенную под воду электрическую батарейку. Более того, когда им предоставлялся выбор, утконосы охотнее бросались за батарейкой, чем за креветкой.

Эксперименты подтвердили, что утконосов привлекает электрическое поле. Они оказались способными реагировать на весьма слабое напряжение — в несколько сот микровольт или даже меньше. Но электрический импульс именно такой величины возникает в хвосте креветки при передаче сигнала от нервов к мускулам — его и улавливает утконос. Использует электрическое поле утконос и для навигации: плывя вдоль стенки бассейна под водой, он легко может натолкнуться на внезапно поставленную перед ним пластмассовую преграду, но избежит препятствие, если оно находится под током.

Энцефалограммы показали, что активность мозга утконоса изменяется, когда передняя его треть подвергается электростимуляции. Созданные по одну сторону клюва электрические пульсации (их амплитуда составляла около 300 мкВ) приводят к возникновению очага активности, расположенного в коре с противоположной стороны головы, ближе к задней половине мозга. По-видимому, в протоках некоторых кожных желез утконоса находятся миниатюрные рецепторы, воспринимающие электрическое напряжение. Такого рода рецепторов не приходилось встречать ни у кого из млекопитающих.

[3] Putters F. A., Assem J., van den // Behav. Ecol. and Sociobiol. 1985. Vol. 17. № 3. P. 265.
[4] Nadel H., Luck F. // Ann. Entomol. Soc. Amer. 1985. Vol. 78. № 3. P. 410.

Это еще раз показывает, сколь необычным был ход эволюции такого уникального животного, как утконос.

Nature. 1986. Vol. 319. P. 401 (Великобритания).

Этология

Новая форма каннибализма

У многих видов общественных насекомых поедание себе подобных — явление обычное[1]. Новую форму каннибализма обнаружил исследователь из Токийского университета К. Масуко у субтропического муравья Amblyopone silvestrii[2].

Эти муравьи, весьма примитивные в социальном отношении, ведут скрытый образ жизни, постоянно обитая в почве. В их небольших гнездах обычно всего 15—25 рабочих и одна царица. Муравьи охотятся на крупных почвенных многоножек — геофилов. Наблюдая в лабораторных гнездах за поведением цариц, Масуко убедился, что они никогда не питаются добычей, принесенной рабочими; не развито у них и кормление изо рта в рот. Царица получает пищу иначе. Время от времени она подходит к одной из самых крупных личинок и острыми челюстями прокусывает ее кожу (обычно тонкую перепонку между 5—6 сегментами на спинной стороне ее тела). Из ранки выступает капля гемолимфы (крови), и в течение нескольких минут царица поглощает ее. Затем гемолимфа свертывается, ранка затягивается, но на коже остается небольшой шрам. Царица может неоднократно питаться гемолимфой одной и той же личинки, используя ту же ранку или прокусывая новую — очень многие личинки в гнезде имеют по одному или несколько шрамов. Это, однако, не мешает им расти и успешно окукливаться. Таким образом, хотя царица и питается тканями личинок, такой каннибализм не ведет к их гибели.

Рабочие муравьи, по наблюдениям Масуко, в нормальных условиях никогда не питаются гемолимфой личинок. Вероятно, этому препятствует доминирующая над ними царица. Если ее удалить из гнезда, то некоторые рабочие становятся плодовитыми и начинают откладывать яйца. Между муравьями складывается отчетливая иерархия: плодовитые рабочие занимают верхние ее ступени и при встрече с подчиненными принимают характерные позы доминирования. Эти замещающие царицу плодовитые рабочие тоже начинают питаться гемолимфой личинок.

Социальная организация общественных насекомых основана на эксплуатации родителями своих потомков, которые превращаются в бесплодных рабочих, выращивающих чужое потомство. В описанном случае такая эксплуатация выражается еще в одной форме — питании гемолимфой личинок.

В. Е. Кипятков,
кандидат биологических наук

Ленинград

Этология

Особенности поведения акул

Отдельные виды акул, как выяснилось в последние годы, отличаются сложным групповым поведением[1]. Значительный прогресс в этих исследованиях достигнут благодаря применению новых методов, в частности метода мечения акул миниатюрными радиопередатчиками. Передатчик либо прикрепляется к спинному плавнику, либо вводится в мышцы акулы, либо «скармливается» вместе с приманкой. В отдельных случаях удавалось прослушивать такой передатчик в течение 2—23 суток[2]. Эти данные постоянно дополнялись прямыми подводными наблюдениями за акулами. Так, в течение четырех лет в Тихом океане, в водах одного из атоллов Маршалловых о-вов, изучалось поведение серой рифовой акулы (Carcharhinus amblyrhynchos) — представителя высокоорганизованного семейства Carcharhinidae[3]. Используя телеметрию, удавалось следить за особями длиной 2,3 м на площади от 0,2 до 53 км^2 и на расстоянии от 300 м до 16 км.

Благодаря этим исследованиям определены типы скопления акул, их маршруты, основные акты поведения, суточная активность. Серая рифовая акула характеризуется сложным поведением, особенно в стаях, где существует иерархия особей. Данные о передвижениях акул хорошо подтверждают гипотезу об оседлости изученного вида: акулы, меченные внутри лагуны атолла, перемещаются преимущественно в ее пределах, сравнительно редко покидают эти воды и не отходят далеко от проливов, соединяющих лагуну с океаном; акулы, помеченные в водах, омывающих атолл, перемещаются вокруг атолла и редко заходят в его лагуну. Это указывает на их привязанность к определенным охотничьим участкам и объясняет, почему массовый вылов акул у островов или над подводными поднятиями и банками приводит к резкому сокращению их численности. По предварительным данным, первоначальная численность акул может восстановиться после их тотального вылова только через 3—4 месяца за счет пришлых особей. Чаще всего видовой их состав не соответствует прежнему. Эту особенность в поведении и распределении акул необходимо учитывать при их изучении и промысле, а также

[1] См., напр.: Карцев В. М., Филимонов П. М. Каннибализм у насекомых // Природа. 1987. № 3. С. 97.

[2] Masuco K. // Behav. Ecol. and Sociobiol. 1986. Vol. 19. № 4. P. 249—255.

[1] См.: Групповое поведение акул // Природа. 1983. № 1. С. 112—113; Губанов Е. П., Кондюрин В. В., Мягков Н. А. Акулы Мирового океана. М., 1986. С. 18, 166.

[2] McKibben J. N., Nelson D. R. // Bull. Mar. Sci. 1986. Vol. 38. № 1. P. 89—110.

[3] Nelson D. R. et al. // Ibid. P. 68—88.

при комплексных исследованиях и оценках численности и биомассы тех или иных биоценозов Мирового океана.

Н. А. Мягков
Москва

Палеонтология

Рептилия или млекопитающее!

В северной части Малави (Восточная Африка) обнаружен череп неизвестного науке животного, обитавшего около 135 млн лет назад. Раскопки вела палеонтологическая экспедиция, возглавлявшаяся Л. Джекобсом (L. L. Jacobs; Южный Методистский университет, Даллас, США) и З. Кауфулу (Z. Kaufulu; Малавийский университет, Лилонгве, Малави).

Исследования показали, что, несмотря на общность некоторых черт, сближающих обладателя этого черепа с древними крокодилами, его зубы имеют форму, характерную для млекопитающих.

До сих пор палеонтологам очень мало известно относительно эволюции пресмыкающихся на этой территории в мезозойскую эру. Ученые намерены возобновить раскопки на севере Малави в надежде обнаружить дополнительные следы этих древнейших животных.

Science News.
1986. Vol. 129. № 22.
P. 343 (США).

Экология

Беременность и кадмий

В Японии и ряде других стран, где велико загрязнение среды тяжелыми металлами, распространено заболевание итаи-итаи, проявляющееся в размягчении костей и деформации скелета. Одна из основных причин болезни — хроническое отравление тяжелыми металлами, в первую очередь кадмием. Замечено, что итаи-итаи чаще всего поражает многодетных женщин, долго кормивших грудью. Причины этого феномена изучала группа сотрудников отдела медицинских и биологических исследований Аргоннской национальной лаборатории (Ламонт, США).

В экспериментах на крысах определялось изменение содержания кадмия в различных органах и тканях во время беременности и лактации. В этот период в воду, которую давали пить самкам, добавляли хлорид радиоактивного изотопа кадмия ($^{109}CdCl_2$) в дозе, не вызывающей острого отравления и гибели животных. После окончания лактации у крыс на протяжении четырех недель определяли содержание этой метки в различных органах и сравнивали с ее содержанием в аналогичных органах у крыс контрольной группы — небеременных самок, получавших ту же дозу кадмия в течение того же времени. Оказалось, что у подопытных животных сразу же по окончании периода кормления содержание кадмия в почках было повышено в 5 раз, в печени — в 2,6 раза, в грудной железе — в 28 раз, в двенадцатиперстной кишке — в 13 раз по сравнению с контрольными животными. В течение этих четырех недель после прекращения лактации содержание кадмия в указанных органах практически не снижалось.

Известно, что кадмий выводится из организма очень медленно. Поэтому за счет изменения обмена веществ и усиленного накопления кадмия во время беременности и кормления грудью у многорожавших женщин содержание этого металла в тканях может значительно превышать среднепопуляционный уровень, что и является причиной более частого их заболевания итаи-итаи.

В настоящее время механизм интенсивного накопления кадмия в женском организме во время беременности и кормления грудью, а также меры профилактики такого накопления усиленно изучаются.

Environmental Research. 1986. Vol. 40. № 1. P. 145—154 (США).

Экология

Экологические последствия извержения

13 ноября 1985 г. произошло катастрофическое извержение вулкана Невадо-дель-Руис в Колумбийских Андах. Растопленный лавой снеговой и ледниковый покров вершины вулкана вызвал мощный селевой поток, обрушившийся главным образом на город Армеро, где погибло 20 тыс. из 44 тыс. его жителей[1]. Экологические последствия этой катастрофы изучала комплексная экспедиция из Смитсоновского института (Вашингтон, США) совместно с колумбийскими учеными из Кальдасского университета; возглавляли отряды экспедиции вулканолог В. Мелсон (W. Melson), орнитолог Г. Грейвс (G. Graves) и ботаник В. Функ (V. Funk).

Вулканологический отряд собрал более 200 образцов пород, главным образом пемз, которые отражают различные фазы извержения и позволяют предположить, что толчком к нему послужило внедрение значительного объема свежей раскаленной магмы в купол вулкана, образованный уже кристаллизовавшейся к тому времени магмой, которая выделилась еще при извержении XVI в.

Орнитологический отряд пересек 5-километровую зону на северо-восточном склоне горы, где почти все живое было уничтожено вулканическим взрывом. В этом районе в 1911—1913 гг. работала крупная экспедиция Американского музея естественной истории (Вашингтон), оставившая подробное описание богатой местной орнитофауны. Из всех известных здесь до катастрофы высокогорных птиц почти 95 % — неперелетные, местные виды, причем некоторые из них — эндемики. Этим и объясняется большая уязвимость здешней орнитофауны, при всем ее богатстве и разнообразии. Орнитологи во время экспедиции наблюдали

[1] Подробнее см.: Извержение Невадо-дель-Руиса // Природа. 1986. № 7. С. 117—118.

перелет лишь нескольких птиц — по-видимому, от 90 до 95 % всех птиц высокогорья уничтожены взрывом. Теперь представляется возможность изучить возобновление орнитофауны после природной катастрофы. Кроме того, исследования в районе Невадо-дель-Руиса позволят проверить гипотезу, согласно которой разрозненность ареала и изолированность многих видов птиц этого региона связаны с периодическими мощными вулканическими извержениями.

Невадо-дель-Руис с двумя соседними вершинами и их склонами объявлены несколько лет назад правительством Колумбии Национальным парком гор, у подножия которых разместились кофейные плантации. Существует опасение, что уничтожение горной растительности в связи с извержением приведет к эрозии почв и загрязнению рек, а это неизбежно отразилось бы и на выращивании кофе. Этим объясняется поддержка, оказанная местными властями ботанической экспедиции.

До сих пор систематический сбор и изучение здешней растительности не производились. В частности, не исследована экология растений, встречающихся в верхней части склонов Невадо-дель-Руиса (на высотах от 3 до 4 тыс. м над ур. м., вплоть до снеговой линии) и отлично приспособившихся к влажной подболоченной местности с сильными ветрами и низкими температурами. Ботаники собрали растения на разных высотах, как на пострадавших от селя участках, так и на контрольных, и обнаружили, что еще до извержения возделывание почвы и выпас скота на горных склонах привели к уничтожению многих видов местной растительности и заносу чуждых видов. Из-за селя ряд местных и интродуцированных видов погибли, но уже через 2 месяца со дня катастрофы около половины местных видов возродились: они обладают глубокой корневой системой и, даже будучи перекрыты 4-сантиметровым слоем пемзового или грязе-каменного потока, в состоянии возобновить свою жизнедеятельность. Этого нельзя сказать о занесенных видах.

Район Невадо-дель-Руиса на ближайшее 10-летие становится своего рода полигоном для постоянных экологических наблюдений.

Smithsonian Institution Research Reports. 1986. № 49. P. 3 (США).

Океанология. Экология

Уран из морской воды

Морскую воду иногда называют «жидкой рудой», поскольку в ней растворены различные металлы, правда, концентрации большинства из них очень низки. Тем не менее возможности извлечения из морской воды многих редких металлов, в частности золота, серебра, урана, интенсивно изучаются. Наиболее перспективным считается метод их селективного поглощения различными ионообменными смолами.

Сотрудники Южного отделения Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР Ю. Ф. Лукашев, В. Ю. Маслов и М. П. Нестеров провели натурный эксперимент по извлечению урана из воды Черного моря. Специальная конструкция была установлена с помощью буя-поплавка на 80-метровой глубине в 2,5 милях от берега в районе Геленджика. В качестве сорбента использовалась смола АН-31 (азотсодержащий анионит поликонденсационного типа). Прибрежные течения как бы сами «прокачивали» воду через сорбент, что существенно удешевляет получение концентрата металлов.

Эксперимент проходил в течение 52 суток в условиях спокойной погоды, при этом концентрация урана в сорбенте увеличилась в 40 раз, достигнув 83,2 мкг/л. Исследователи полагают, что при более сильном волнении и течениях концентрация урана в ионообменной смоле была бы еще выше.

Помимо технической и химико-технологической, эксперимент преследовал и экологическую цель: исследовать, как помещенный в морскую воду сорбент будет влиять на окружающую среду. Пропуская через себя огромные объемы воды, ионообменные смолы, естественно, будут отдавать в нее часть соединений. Большинство синтезируемых смол имеют органическую основу, в которую входят азот- и фосфорсодержащие группы. Учитывая, что именно соединения азота и фосфора являются важнейшими пищевыми элементами морского планктона, вымывание больших количеств этих соединений может при определенных условиях привести к усилению эвтрофикации района. В экстремальных же случаях возможна массовая гибель планктонных организмов растительного и животного происхождения, поскольку избыточные количества азота и фосфора угнетают их развитие. Наряду с натурным экспериментом авторы провели лабораторные исследования, на основании которых пришли к выводу, что большие количества анионитов типа АН-31 способны в значительной степени изменять химический состав воды в прилегающем районе моря. Следовательно, применение их в промышленных масштабах потребует предварительных тщательных исследований возможных экологических сдвигов.

Океанология. 1986. Т. XXVI. Вып. 6. С. 1012—1017.

Геология

Новая геологическая карта Кубы

В 1985 г. составлена геологическая карта Кубы масштаба 1:250 000 (24 листа с дробной многокрасочной легендой). Ни одна страна Латинской Америки подобной карты не имеет. Ее издание — итог многолетнего научного сотрудничества академий наук Кубы, СССР, Болгарии, Венгрии и Польши; обобщение результатов совместных геологических исследований и общее редактирование осуществлялось советскими геологами А. Ф. Адамовичем, Г. Е. Некрасовым, А. А. Моссаковским, Ю. М. Пущаровским и С. Д. Соколовым.

Карта раскрывает сложную картину строения и геоло-

Вещественно-структурная зональность Кубы позднемезозойского и кайнозойского времени. 1 — шельф; 2 — материковый склон; 3 — глубокое море (край палеоокеанического бассейна); 4 — глубинный тектонический шов; 5 — островная вулканическая дуга мелового времени; 5а — метаморфические породы (возможно, основание зоны 5); 6 — тектонические покровы, сложенные мезозойскими породами с фрагментами более древних пород; 7 — островная вулканическая дуга кайнозойского времени; штриховкой показаны крупнейшие поперечные глубинные разрывы кайнозойского времени.

гической эволюции о. Куба. Это исключительно интересный геологический объект, для которого характерно двойственное структурное положение: он входит в Карибскую островную дугу и в периферическую зону Северо-Американского континента. Изучая геологию Кубы, можно понять, как разрастается масса материка и формируется континентальная земная кора.

Структура о. Кубы отличается большой тектонической расслоенностью. Этот сложный тектонический ансамбль возник в результате скучивания разных структурно-формационных комплексов в процессе развития окраинно-материковой зоны. Сближение и взаимное перекрывание геологических структур происходило в несколько этапов, наиболее значительные из них — конец мела и середина эоцена. В олигоцене на Кубе уже началось образование позднекайнозойского осадочного покрова и формирование крупных впадин — преобладающими становятся вертикальные тектонические движения. Структурная эволюция Кубы со всей очевидностью показывает, что земная кора континентального типа формируется постепенно за счет преобразования океанической коры. Однако в южной половине острова зрелая континентальная кора еще находится в стадии становления, в связи с чем Куба и рассматривается как зона приращения Северо-Американского материка и как фрагмент современной островной дуги Больших Антил.

На карте выделено несколько тектонических зон, разных по возрасту, строению и составу образующих их геологических комплексов. Северное побережье острова в мезозое и частично в кайнозое было шельфом Северо-Американского материка, от которого сейчас Куба отделена проливом глубиной до 2000 м. С шельфовой зоной связаны основные нефтяные месторождения Кубы. К югу от шельфа находится зона материкового склона, который постепенно углубляется; верхнеюрско-нижнемеловые мелководные отложения сменяются все более глубоководными. Расположенная еще южнее зона имеет признаки палеоокеанического бассейна. Вся эта северная группа зон ограничена с юга глубинным тектоническим швом, который на всем своем протяжении маркируется выходами на земную поверхность массивов ультрабазитов и габбро; с этой зоной связаны хромитовые месторождения, а также железокобальтовоникелевые руды. В зоне, расположенной к югу от шва, в меловом периоде находилась вулканическая островная дуга; в ее вулканогенно-осадочных породах содержатся кварц-золоторудные месторождения с сульфидами. Следующая к югу зона охватывает горы Эскамбрай, о. Хувентуд с его золотым оруденением и горы Сьерра-де-Лос-Органос на западе Кубы. Для этой зоны характерны мощные отложения кварцевых песчаников с растительным детритом и остатками листовой флоры; здесь обнаружены хорошие месторождения мрамора, а среди горных пород на западе острова залегает одно из двух наиболее крупных медных месторождений, с которым пространственно связаны свинцово-цинковые месторождения. На крайнем юго-востоке Кубы находится еще одна структурно-формационная зона с самыми молодыми вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами; образование здесь месторождений марганцевых, медно-сульфидных и железных руд было обусловлено гидротермальными и метасоматическими процессами.

Геологическая карта Кубы станет основой для новых крупномасштабных геологических исследований, а также для создания тектонической карты Кубы, над которой в настоящее вре-

мя работают Геологический институт АН СССР и Институт геологии и палеонтологии АН Кубы.

Вестник АН СССР. 1986. № 10, С. 113—119.

Геотектоника

Новые данные о глубинном строении пассивных окраин океана

Проведенные недавно группой американских и канадских специалистов сейсмические исследования по программе LASE (Large Aperture Seismic Experiment — Широкоугольный сейсмический эксперимент) дали принципиально новую информацию о строении нижних частей земной коры в зоне пассивных окраин океана.

Работы велись у восточного побережья Северной Америки — в одной из типичных пассивных окраин. К настоящему времени этот район наиболее хорошо изучен геологическими и геофизическими методами. Представления о глубинных частях земной коры в зоне перехода от континента к океану, где развиты мощные, более чем 15-километровые толщи осадочных пород, до сих пор строились на основе интерпретации гравитационных и магнитных данных. Новый эксперимент включал два вида сейсмических работ: регистрацию отраженных сейсмических волн методом общей глубинной точки (широкоугольное профилирование, позволяющее получить высококачественную 144-канальную запись этих волн) и регистрацию преломленных волн, используемых для построения так называемых скоростных разрезов земной коры.

Получены уникальные и неожиданные данные о строении глубинных частей земной коры в тех ее областях, которые обычно связывают с границей между континентальной и океанической корой. В основании разреза непрерывно прослеживается геофизический слой мощностью 6—9 км, в котором характерные скорости сейсмических волн составляют 7,2—7,4 км/с. Без видимых изменений он тянется от внутреннего шельфа до внутренних частей океана, что может отражать непрерывный переход от магматических образований континентальной коры к интрузивным образованиям третьего океанического слоя (сложенного ультраосновными породами).

Участники эксперимента предполагают, что этот геофизический слой образован интрузиями габбрового состава, которые могли внедриться на заключительной стадии континентального рифтинга и ранней стадии спрединга океанического дна. Это говорит о сходном составе магматических интрузий на этих двух стадиях развития тектонических структур, что затушевывает структурные проявления границы континент — океан.

Marine and Petroleum Geology. 1986. Vol. 3. P. 234—242 (США).

Геофизика

Форма земного ядра

Группа геофизиков из Калифорнийского технологического института (Пасадена, США), возглавляемая О. Гудмундсоном (O. Gudmundson), изучала строение земного ядра с использованием недавно разработанного метода сейсмической томографии. Анализ сейсмограмм, зарегистрировавших продольные волны от удаленных землетрясений, проходящие через глубинные недра планеты, позволил прояснить положение границы между ядром и мантией Земли. При этом обнаружено, что ядро не имеет правильной шарообразной формы: под восточной частью Австралии, центральной областью Северной Атлантики, северо-востоком Тихого океана, Центральной Америкой и югом Средней Азии поверхность ядра вздымается, образуя своего рода «горы», а под юго-западной частью Тихого океана, Вест-Индией, Европой и Мексикой на поверхности ядра существуют «низменности» и «равнины». Перепады высот между такими районами могут составлять около 10 км.

Причиной подобной формы ядра может служить долговременная циркуляция вещества вязкой мантии: охлажденные породы большой плотности погружаются, образуя депрессии, а разогретые поднимаются.

Следствием такой формы ядра могут быть наблюдаемые в течение длительного времени изменения продолжительности суток — за последнее десятилетие они достигают 0,2 мс. Неправильная конфигурация земного ядра, возможно, ответственна и за неравномерность в скорости вращения планеты. Эти соображения подтверждаются исследованиями группы сотрудников Лаборатории реактивного движения в Пасадене, возглавляемой М.-Э. Спит (М.-А. Spieth). Их вычисления показывают, что неравномерные движения жидкой части ядра в районах, где граница между ядром и мантией искажена «горами» и «низменностями», могут приводить к колебаниям в длительности суток, достигающим за десятилетие 6 мс. Авторы считают также, что с формой ядра связаны и нерегулярные изменения в магнитном поле Земли. Создающий магнитное поле динамо-эффект возникает благодаря конвективным течениям, существующим в жидком ядре. Магнитные силовые линии как бы следуют за этими течениями, и там, где на поверхности ядра появляются выступы и впадины, меняют структуру магнитного поля.

New Scientist, 1986. Vol. 112. № 1539. P. 13 (Великобритания).

Геофизика

Внедрение магмы и землетрясения

13 июня 1984 г. на дне Тихого океана в районе о. Тори (о-ва Бонин, Япония) произошло землетрясение. Его магнитуда не превышала 5,5 по шкале Рихтера, но вызвало оно необычную для столь небольшого толчка волну, высота которой даже в 160 км от эпицентра составляла 1,5 м. Это событие про-

анализировал Х. Канамори (H. Kanamori; Калифорнийский технологический институт, Пасадена, США).

Исследователь обратил внимание на необычный характер сейсмограмм. Особенности распространения сейсмических волн в земной коре во время этих событий можно объяснить, лишь допустив, что данное землетрясение связано с внезапной интрузией (внедрением) расплавленной магмы в кору, образующую ложе океана. Согласно расчетам Канамори, проведенным совместно с сотрудниками Гарвардского университета (Кембридж, США), для наблюдавшегося геофизического эффекта потребовалось всего 20-секундное вторжение магмы с первоначальным объемом около 0,3 км^3 и температурой, близкой к 1500 °С: магма мгновенно вызвала перегрев содержавшейся в осадочных породах воды и объем пород внезапно увеличился в 30 раз. Это взрывообразное расширение и вздымание дна океана и послужило причиной цунами.

До сих пор сейсмологи считали, что землетрясения возникают в основном как следствие разломов в земной коре. Правда, около 50 лет назад японский ученый М. Исимото (M. Ishimoto) высказал предположение, что вторжение магмы в океаническую кору может приводить к сейсмическим последствиям, но четких подтверждений справедливости такой гипотезы не было. Выводы Канамори существенны не только для развития теоретической геофизики и сейсмологии, но и для совершенствования прогноза цунами и землетрясений в приморских областях.

New Scientist.
1986. Vol. 112. № 1540/1541. P. 24 (Великобритания).

Океанология

Эль-Ниньо запаздывает

По прогнозам американских океанологов и климатологов, очередное возобновление процессов, связанных с Эль-Ниньо, следовало ожидать в 1986—1987 гг.[1] Действительно, в феврале 1986 г. температура вод, омывающих западное побережье Южной Америки, несколько повысилась, но уже в первые недели марта потепление прекратилось. Не состоялись и обычно сопутствующие Эль-Ниньо в апреле метеорологические явления — прекращение восточных ветров в западной части Тихого океана, смещение зоны мощных осадков в районе Индонезии, а также вдоль линии смены дат. Указывающие на приближение Эль-Ниньо биологические события (высокая смертность птиц, появление теплолюбивых моллюсков и морских змей в водах Галапагосских о-вов и др.) хотя и наблюдались в марте, но затем прекратились.

Известен всего лишь один случай, когда появление Эль-Ниньо откладывалось до июня (а именно в 1982—1983 гг.; тогда его последствия оказались наиболее катастрофическими). Поэтому группа сотрудников Центра анализа климата в Силвер-Спринге (штат Мэриленд, США) во главе с Ю. Расмуссоном (E. M. Rasmusson) высказала сомнение в правильности сделанного прогноза, указав, что в 1986—1987 гг. подобного явления происходить не будет.

В то же время специалисты из Атлантической океанографической лаборатории Национального управления США по изучению океана и атмосферы, возглавляемые Д. Палмером (D. R. Palmer), разработали новую методику обнаружения Эль-Ниньо. Она основана на изменениях акустических свойств морской воды, связанных с изменениями ее температуры, солености и давления. Оказывается, в период развития Эль-Ниньо слой океанической воды на глубине от 50 до 280 м становится весьма плохим проводником звуковых сигналов низкой частоты. Судя по предыдущим случаям, интенсивность звука должна снижаться в 1000 раз. Наблюдательная проверка этой методики станет возможной лишь при возобновлении Эль-Ниньо, которое на этот раз обмануло ожидание ученых.

Science News.
1986. Vol. 129.
№ 23. P. 357 (США).

Вулканология

Вулканологическая кризисная группа

В США создана группа из специалистов по вулканологии, сейсмологии, гражданской обороне, медицине и социальной помощи, предназначенная для принятия мер на случай катастрофических извержений. Ее задачи: оценка уровня опасной активности вулканов в любой стране мира; участие в создании карт, указывающих степень риска для местного населения; информация властей и дача им рекомендаций; организация первой помощи в случае катастрофы. В распоряжение группы переданы сейсмографы с телеметрическими устройствами, геодиметры (лазерные дальномеры для измерения движений земной коры), наклономеры и другое оборудование, позволяющее собирать первичную информацию о состоянии глубинных недр и земной поверхности в районах вулканической активности.

Толчком к созданию такой группы послужили трагические события в ноябре 1985 г. при извержении вулкана Невадо-дель-Руис в Колумбии. Незадолго до этой катастрофы эксперты из ООН и США передали колумбийским властям карту, на которую были нанесены опасные зоны, в том числе и район г. Армеро. Затем был дан прогноз высокой вероятности извержения в самое ближайшее время и даже посланы радиограммы представителям местной гражданской обороны. Однако все это было проигнорировано, и город оказался уничтоженным селем, с колоссальной скоростью скатившимся с вершины горы, когда ее снежный покров, соприкоснувшись с потоками лавы, мгновенно растаял.

[1] Математические модели Эль-Ниньо и его прогнозы // Природа. 1987. № 1. С. 117.

В создании вулканологической кризисной группы участвует Управление геологической службы США. Начато составление карт вулканической опасности для окрестностей 12 действующих вулканов на территории США, включая Гавайские о-ва.

New Scientist. 1986. Vol. 112. № 1538. P. 19 (Великобритания).

География

Сахельская катастрофическая засуха

Одна из величайших рек Африки Нигер в своем среднем и верхнем течении, на территории Мали, образует гигантский разлив, который называют внутриконтинентальной дельтой. Здесь русло Нигера разбивается на бесчисленное множество проток, между которыми на десятках тысяч гектаров лежит увлажненная местность с весьма богатой флорой и фауной. Хотя этот гигантский оазис со всех сторон окружен песками Сахеля (часть Сахары), люди здесь обитали с незапамятных времен: по археологическим свидетельствам, древний человек заселил эту местность не менее 2,5 тыс. лет назад. Ныне этот оазис находится под угрозой исчезновения: почти 20 лет здесь свирепствует тяжелейшая засуха. Потеряв весь скот и почти весь урожай, жители десятками тысяч переселяются в другие районы Мали, где и без того не хватает воды и продовольствия.

Геологические, гидрологические и экологические обстоятельства этой катастрофы изучает группа сотрудников Смитсоновского института в Вашингтоне (США), возглавляемая П. Джейкобберджер (P. Jacobberger). Исследуются космические снимки, сделанные со спутника «Landsat»; для сравнения привлекаются аэрофотоснимки, полученные в 50-е годы, в период, когда здесь выпадали исключительно обильные осадки; производится привязка снимков к наземным наблюдениям. Спутник выведен на полярную орбиту высотой 700 км; в широком диапазоне частот и с большой разрешающей способностью с него регистрируется альбедо земной поверхности (на каждом витке охватывается полоса местности шириной около 190 км).

Известно, что поверхность пустынных зон значительно сильнее отражает солнечное излучение, чем плодоносная почва, растительность и водные участки,— это и позволяет определять степень опустынивания ландшафта. При сопоставлении данных за 1976 и 1985 гг. выяснилось, что альбедо возросло на 15 %. Наибольшие изменения произошли там, где существовали водные бассейны, ныне полностью пересохшие. В местах ежегодных разливов рек образовалось множество перекрытых песчаными породами проток, потерявших способность пропускать воду. Если этот процесс будет продолжаться, геоморфология внутренней «дельты» Нигера совершенно изменится: вместо густой сети речных рукавов и мелких озер возникнет единая речная долина, стиснутая песками,— именно такая картина характерна для других аридных районов, например для среднего течения Нила.

Наземное обследование подтвердило, что около 75 % озер, прудов и болот «дельты», прежде существовавших даже в сухой сезон, к настоящему времени исчезли. Во всех колодцах уровень воды значительно ниже обычного. Верхний слой почвы во многих местах унесен ветрами. Собранные образцы уже нельзя назвать почвой — это лишенный органики безжизненный материал.

Smithsonian Institution Research Reports. 1986. № 49. P. 5 (США).

Палеогеография

Древние реки прослежены из космоса

Археологические свидетельства того, что несколько сот тысяч лет назад восточные районы Сахары были заселены людьми, разрозненны и немногочисленны. Подтверждение, что эта, ныне самая засушливая на Земле, область некогда была зоной умеренного субтропического климата, получено при обработке радиолокационных данных, поступивших в 1984 г. с борта американского космического корабля «Шаттл».

Еще 10—30 млн лет назад в этом регионе существовала система крупных рек, истоки которых находились в горной местности, примыкавшей к Красному морю. Отсюда их русла прослеживаются через южный Египет, северо-западный Судан и Чад, вплоть до впадения в Атлантический океан вблизи современной дельты Нигера. Примерно 20 млн лет назад эта система стока начала нарушаться из-за внутриконтинентальных вулканических процессов и вздымания земной коры. Сухой климат начал устанавливаться около 2 млн лет назад, но этот процесс прерывался короткими влажными периодами — именно тогда в древних речных долинах и мог поселяться человек.

Группа сотрудников Управления геологической службы США во Флагстаффе, возглавляемая Дж. Шабером (G. G. Schaber), при участии специалиста по геохронологии из Университета штата Аризона К. Хейнса (C. V. Haynes) провела полевые исследования и раскопки, в ходе которых вдоль древних береговых линий было обнаружено много предметов материальной культуры человека каменного века; впервые на речных террасах восточной Сахары найдены каменные топоры и рубила ашельского типа. Возможно, что, следуя именно этими долинами, древний человек из северо-восточной Африки проник затем в Азию и Европу. Однако впоследствии Сахара стала пустынной и необитаемой. Именно высокая засушливость климата и позволила с помощью радиолокационных методов обнаружить русла древних рек: радиосигнал может проникать в сухой песок на глубину нескольких метров и позволяет отличать коренные породы от аллювия — осадков, принесенных рекой.

Eos (Transactions of the American Geophysical Union). 1986. Vol. 67. № 30. P. 595 (США).

НОВАЯ ЖИЗНЬ СТАРЫХ КАРТ

А. А. Гурштейн,
доктор физико-математических наук

М. В. Кузнецов,
кандидат технических наук

С. И. Слипченко,
кандидат технических наук

Москва

А. В. Постников. РАЗВИТИЕ КАРТОГРАФИИ И ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТАРЫХ КАРТ / Отв. ред. И. А. Федосеев. М.: Наука, 1985. 215 с.

Карты — неповторимые творения человеческого разума, в которых отражаются научные знания и политические амбиции, исторические представления и графическое мастерство. А. В. Постников, используя как давно известные материалы, так и находки последнего времени, убедительно показывает, что картография у разных народов и в разные эпохи имела своеобразные черты, отражающие специфику их культуры. Каждая карта — кадр захватывающего фильма о прогрессе человеческого общества, развитии знаний людей об окружающем их мире. Эволюция картографии — это эволюция особого языка, появившегося раньше любой письменности, но никогда не отставшего от уровня своего времени.

Всем этим и объясняется необычайно возросший в наши дни интерес к старым картам — профессиональный и любительский. (За рубежом собирание старых карт стало одним из самых модных видов коллекционирования, а бизнес картоторговли — чрезвычайно доходным.) Изучение истории картографии началось в середине прошлого века, с факсимильных публикаций. Постепенно были введены в научный оборот все основные группы картографических произведений прошлого, и таким образом создалась источниковедческая база для обобщающих работ, среди которых А. В. Постников особо выделяет исследования советского картоведа К. А. Салищева, американца Л. Брауна, русские и американские публикации П. С. Багрова, книги английских историков Г. Р. Кроуна и Р. А. Скелтона и некоторые другие.

Монография А. В. Постникова — во многом новый взгляд на историю карт. Автор впервые детально исследовал развитие и взаимовлияние двух главных направлений картографии: практического (крупномасштабного) и концептуального (обзорного). Практическая картография, возникнув на самых ранних этапах развития общества, давала древнему человеку возможность ориентироваться в пределах относительно ограниченной зоны его обитания и хозяйственной деятельности. Позднее этот вид картографии стал использоваться для учета сельскохозяйственных земель, их распределения и закрепления за земледельцами, а также для военных действий.

Концептуальная (обзорная) картография выражала представления человека об ойкумене в целом. С зарождением классового общества пути практической и концептуальной картографии надолго расходятся, и лишь древнегреческие философы (наиболее четко это сформулировал Птолемей) осознали как принципиальную общность обоих видов картографирования, так и различия между ними. В работе А. В. Постникова показано, что только в период Возрождения начинается процесс взаимодействия между практическим и концептуальным направлениями в картографии. Общая картина мира, созданная некогда Птолемеем, стала пополняться материалами Великих географических открытий и данными, почерпнутыми из детальных морских карт — портоланов.

Разумеется, создание карт стимулировалось прежде всего материальными потребностями общества, и именно поэтому

карты представляют собой незаменимый исторический источник. С этих позиций автор рецензируемой монографии принимается за исследование закономерностей мировой картографии с древнейших времен до конца XIX в.

Книга открывается кратким методологическим вступлением, за которым следуют главы, посвященные первым шагам картографии, где, например, увлекательно рассказывается о самом раннем из сохранившихся картографических изображений, выгравированном на серебряной вазе из Майкопского кургана (третье тысячелетие до н. э.), которая экспонируется в ленинградском Эрмитаже, о несохранившихся древних картах (на коре деревьев, коже, кости, листьях), существование которых можно предположить по аналогии с тем, что мы встречаем у племен и народностей, находящихся на ранних стадиях социально-экономического развития, о наскальных картографических рисунках и рисунках на стенах зданий, о древнегреческих и древнеримских картографических построениях, переносимых на ткани, камень, металл, о том, как формировались у древних людей представления о пространстве и способы ориентации в нем с помощью элементарных угловых определений.

Важнейшим периодом в развитии картографии был этап решения ее основной задачи — изображения земной поверхности, которое стало возможно благодаря математическим открытиям, сделанным древними греками. В монографии прослеживается становление идеи сферичности Земли, появление первых изображений земной поверхности в виде глобуса, введение системы географических координат и вычисления длины дуги меридиана. Такой качественный скачок в эволюции картографии стимулировался усложнением управленческого аппарата рабовладельческого государства и многообразными торговыми связями в Древнем мире. В этот период, особенно в Древнем Риме, карты начинают применяться в военном деле.

В книге показано, как отразилось на судьбах картографии развитие феодализма и идеология Средневековья. Господствующие в VI—IX вв. «монастырские карты» весьма примитивны и бедны географическими деталями, зато наполнены библейскими сюжетами. Земля изображалась как диск, а начертание на ней внутренних вод в виде буквы Т воплощало основной символ христианства — крест. Азия, Африка и Европа часто обозначались именами Сима, Хама и Яфета — сыновей библейского патриарха Ноя, которым эти материки достались в результате раздела Земли после всемирного потопа. На большинстве монастырских карт указывалось местонахождения рая, вся изображаемая территория делилась на 12 областей, «закрепленных» за апостолами для проповеди христианства. И так далее.

Но традиции античности не умирают. Они появляются в средневековых европейских картах, которые носят название «зональных», или «макробиевых» (по имени картографа Ф. А. А. Макробия, жившего в V в. н. э.), изображавших Землю в виде шара, разделенного на зоны, и особенно в картах, созданных учеными Армении и Арабского халифата.

Эпоха Возрождения приносит с собой расцвет европейской картографии. В рецензируемой монографии детально исследованы процессы формирования в этот период научных основ картографии и деятельность ее выдающихся представителей Геммы Фризия Регниера, Г. Меркатора, А. Ортелия и других.

В XVII столетии на базе новых исследований фигуры Земли быстро развивается математическая база картографии. Разнообразные практические потребности приводят к необходимости сплошного крупномасштабного картографирования целых стран, которое и было выполнено силами картографо-геодезических служб в XVIII—XIX вв. Рассказывая о картографии этого периода в отдельных европейских странах, автор описывает методику съемок, усовершенствования в инструментах и способах печати карт.

Читатель получает ясное представление о том, когда и как появились первые карты-чертежи в России. Судя по сохранившимся описаниям, в XVI—XVII в. чертежи малых и больших территорий были уже широко введены в обиход, сотни их хранились в «коробьях» Разрядного, Посольского и других приказов. Но, по косвенным данным, существовали и более ранние русские карты. Академику Б. А. Рыбакову удалось установить дату и реконструировать содержание первой карты всего русского государства, которой он дал условное название «Чертеж Московских земель 1497 года». В книге справедливо отмечается, что работы по картографированию России в XVIII в. были грандиозны по размаху и гораздо более значительны, чем в других странах Европы в тот же период.

Наряду с историей картографии важное место в рецензируемой книге занимает анализ картографических произведений прошлого как исторических источников. Старые карты могут быть с успехом использованы как источники для социально-исторических изысканий, при исследовании естественных и антропогенных процессов изменения природной среды, при изучении естествознания и техники. Карты несут неоценимую информацию об истории развития географии, геологии, геодезии,

навигации, графики, полиграфии. Именно эта часть монографии А. В. Постникова отличается наибольшей новизной и представляет самостоятельную научную ценность.

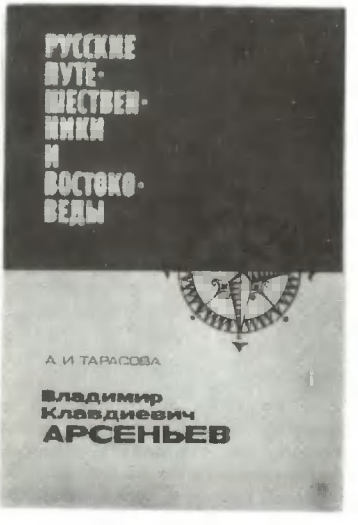
К числу основных достоинств книги относится ее многоплановость и обобщение огромного объема данных. Но в обилии материала автор не всегда успевает уследить за деталями, такими, например, как транскрипция имен. В результате в тексте и в указателе появляется, скажем, некто Тартаглья, хотя на самом деле в нем угадывается широко известный математик Никколо Тарталья (ок. 1499—1557). Можно раздумывать, искать ли знаменитого среднеазиатского ученого IX в. ал-Хорезми на букву «а» или «х», но уж, конечно, никому не придет в голову, что он помещен под буквой «м» — Мухаммед ибн Муса ал-Хорезми. Впрочем, нет смысла подробнее останавливаться на этих и других подобных же технических огрехах.

Следует приветствовать появление этой интересной и важной книги: она, бесспорно, является одной из вех в истории картографии. Добавим, что книга хорошо оформлена: развитие картографии проиллюстрировано более чем полусотней карт. Досадно, правда, что все они выполнены в черно-белом изображении.

О ЗНАМЕНИТОМ АВТОРЕ «ДЕРСУ УЗАЛЫ»

В. А. Есаков,
доктор географических наук

Москва



А. И. Тарасова. ВЛАДИМИР КЛАВДИЕВИЧ АРСЕНЬЕВ. М.: Наука, Гл. ред. вост. лит-ры, сер. «Русские путешественники и востоковеды», 1985. 344 с.

Имя замечательного путешественника и писателя В. К. Арсеньева (1872—1930), овеянное легендами и воспетое в стихах, по праву ставится историками географии в один ряд с именами Н. Н. Миклухо-Маклая, П. П. Семенова-Тян-Шанского и Н. М. Пржевальского. Книги Арсеньева «По Уссурийскому краю», «Дерсу Узала», «В горах Сихотэ-Алиня» и др. вошли в золотой фонд мировой научно-художественной литературы. Ими зачитываются и взрослые и дети. Они изданы более чем на 30 языках народов СССР и зарубежных стран.

Об Арсеньеве написаны книги, статьи, диссертации, воспоминания. Ему посвятили самые проникновенные строки Ф. Нансен, М. Горький, М. М. Пришвин, К. Г. Паустовский и многие другие писатели и ученые. Однако из книги А. И. Тарасовой читатель не без удивления узнает, что биография Арсеньева недостаточно полно изучена. Эта книга — источниковедческая работа, и многие вопросы освещаются в ней впервые.

В начале книги автор дает критический анализ трудов своих предшественников — исследователей жизни и деятельности Арсеньева, анализ нелицеприятный, строго объективный и обоснованный фактически. Тщательно

изучив документы, рассеянные по разным архивам, автор впервые выявила и устранила многие ошибки и домыслы, искажавшие истинную картину жизни и творчества Арсеньева. Достаточно привести несколько примеров. Так, в литературе укоренились ошибочные сведения о том, что Арсеньев по специальности был топографом, что он являлся профессором и заведующим кафедрой этнографии Дальневосточного университета, что первая встреча с проводником и будущим героем его книг Дерсу Узалой произошла в 1902 г. и т. д.

В действительности Арсеньев не был топографом ни по образованию, ни по занимаемым должностям. Сын бывшего конторщика, дослужившегося до «генеральской» должности начальника Московской окружной железной дороги, Владимир Клавдиевич окончил в 1895 г. Петербургское пехотное юнкерское училище, был направлен в Польшу и лишь в 28-летнем возрасте прибыл для прохождения военной службы на Дальний Восток. Начальник Владивостокской крепостной конноохотничьей команды по должности и географ-исследователь по призванию, он становится членом Владивостокского общества любителей охоты, а также Общества изучения Амурского края и использует служебные экспедиции и все свободное время для изучения окрестностей Владивостока и соседних с ним районов. После окончания русско-японской войны Арсеньев был переведен в Хабаровск. К этому времени он был блестяще теоретически и практически подготовлен к осуществлению своей главной научной задачи — изучению Уссурийского края в естественноисторическом, географическом и этнографическом отношении.

В советское время он действительно преподавал в Дальневосточном университете, но был не профессором, а доцентом и не возглавлял кафедру этнографии, а читал собственный курс по этой дисциплине. С Дерсу Узалой он впервые встретился в 1906 г.

Тщательный источниковедческий анализ основных книг Арсеньева привел А. И. Тарасову к выводу, что безоговорочно считать их биографическим источником не следует, так как в них имеется доля художественного вымысла, в частности образ нанайца Дерсу Узалы заметно отличается от своего прототипа.

В книге А. И. Тарасовой впервые приводится свод архивных источников, в том числе документального наследия самого Арсеньева. Для историка науки особенно важны указания на те труды Арсеньева, которые, несомненно, существовали, но местонахождение которых в настоящее время неизвестно. Это таинственная «Страна Удэхе», итоговая его работа «Памятники старины в Уссурийском крае», археологическая карта Дальнего Востока и ряд других работ.

Весьма ценным дополнением к уже известному по другим биографическим работам об Арсеньеве является глава книги А. И. Тарасовой, посвященная его экспедиционной деятельности. Здесь также впервые рассмотрены не только конкретные итоги широко известных Сихотэ-Алинских экспедиций 1906—1910 гг., но и дано описание (на основе неопубликованных путевых дневников Арсеньева) неизвестных ранее путешествий 1911—1913 гг., а также оставшихся малоизвестными экспедиций 1917—1926 гг. Благодаря этому представление о регионах исследований Арсеньева значительно расширилось: кроме путешествий в Приморье и Приамурье Владимир Клавдиевич производил исследования на Камчатке, на Командорских о-вах и на Охотском побережье. Приведены сведения и о задуманных, но не осуществленных экспедициях на крайний северо-восток страны. Рассказано о спутниках Арсеньева, внесших значительный вклад в успех его экспедиций. Таким образом, впервые появилась возможность познакомиться с экспедиционной деятельностью Арсеньева во всей ее совокупности.

Арсеньева знали преимущественно лишь как смелого и неутомимого путешественника, первопроходца дикой дальневосточной тайги и как талантливого писателя. Очень мало было известно о нем до сих пор как о серьезном исследователе-этнографе, который, хотя и в значительной мере самоучкой, но сумел подготовить себя к настоящей полевой этнографической работе и своими трудами внес крупный вклад в изучение народов Нижнего Приамурья, Приморья и Камчатки. Предпринятый А. И. Тарасовой опыт источниковедческого изучения опубликованных работ В. К. Арсеньева, рукописных полевых дневников, служебных записок, эпистолярного наследия и иных документов позволил определить научные итоги многолетних исследований ученого в области этнографии. Этот опыт особенно ценен потому, что главный этнографический труд Арсеньева «Страна Удэхе» пока не найден.

Автор рецензируемой книги исходила из принципиального убеждения в исключительной цельности работ Арсеньева как географа, натуралиста, писателя и общественного деятеля, а также из того, что его собственно этнографические исследования могут быть оценены лишь при рассмотрении в единстве со всем этим комплексом. Именно таким путем раскрывается в книге А. И. Тарасовой специфика этнографических исследований Арсеньева. Автором впервые обстоятельно изучен один из важнейших моментов творческой эволюции Арсеньева — его работа над монографией «Страна Удэхе», которую он считал «целью

своей жизни». Фактическая основа этого затерянного труда содержится в полевых дневниках путешественника.

В процессе поисков новых материалов и их анализа автору удалось расширить представление об археологических, лингвистических и топонимических изысканиях Арсеньева, связанных с изучением этногенеза дальневосточных народностей, не имевших своей письменности.

В книге восполнены многие пробелы в изучении научно-организационной, педагогической и общественной деятельности Арсеньева. Показана его борьба за приобщение малых народностей к социализму, деятельность в области охраны природы, музейная работа и сотрудничество с кинематографом, пришедшим в 20-е годы на помощь этнографии.

Существенным элементом книги являются приложения: хроника жизни и деятельности Арсеньева и список различных объектов, названных его именем. Книга иллюстрирована фотографиями, часть которых публикуется впервые.

Разумеется, в книге А. И Тарасовой, как и во всякой большой работе, встречаются отдельные спорные положения и некоторые неточности, но они не могут повлиять на общую оценку этого бесспорно интересного и полезного труда. Автор показала Арсеньева во всем многообразном единстве его занятий и интересов, исключительную ценность его трудов, их гуманистическую направленность и патриотизм.

НОВЫЕ КНИГИ

Физика

М. С. Волынский. НЕОБЫКНОВЕННАЯ ЖИЗНЬ ОБЫКНОВЕННОЙ КАПЛИ. М.: Знание, 1986, сер. «Наука и прогресс». 144 с. Ц. 25 к.

Автор этой книги, известный специалист по двухфазным течениям, рассказывает о той области физики, которой посвятил свою жизнь. Слово «капля» не случайно стоит в названии — разнообразные физические процессы, связанные с этим простым объектом, определяют эффективность работы многих устройств, от оросительных установок до двигателей современной ракеты. На первый план здесь выступают знакомые со школьной скамьи явления: поверхностное натяжение и взаимодействие потоков жидкости или газа, теплопередача и диффузия. Их сочетание рождает удивительное многообразие мира капель.

Впрыскивание жидкого топлива в камеру сгорания и образование капель, их движение, нагревание и испарение, перемешивание с окислителем и горение — вот далеко не полный перечень процессов, детальным изучением которых пришлось заняться создателям первых реактивных двигателей. С самого начала в этой работе активное участие принял и М. С. Волынский, тогда молодой сотрудник ЦАГИ. Автор рассказывает не только о развитии теоретических представлений, но и об изобретательности экспериментаторов, сумевших проследить за поведением миллиардов мельчайших капель в бушующих потоках раскаленных газов.

Книга М. С. Волынского с трудом вписывается в привычные жанровые рамки: вслед за популярным изложением физической проблемы можно встретить шутливые стихи или рассказ о людях, с которыми автору довелось работать, в том числе о таких известных ученых, как М. В. Келдыш, С. П. Королев, Г. И. Петров, Л. И. Седов, Б. В. Раушенбах. Хотя некоторая пестрота изложения может кому-то показаться чрезмерной, в действительности она преследует важную цель — показать работу исследователя изнутри, заразить читателя романтикой научного поиска, которую постороннему становится все труднее увидеть за сложными теоретическими моделями и кропотливыми экспериментами современной физики. И эта цель достигается: еще раз убеждаешься в богатстве и неисчерпаемости каждой частицы природы. Подкрепленное конкретными и важными примерами, расхожее утверждение о том, что в капле может отразиться целый мир, после прочтения книги начинает восприниматься по-новому.

Медицина. Психология

В. Д. Тополянский, М. В. Струковская. ПСИХОСОМАТИЧЕСКИЕ РАССТРОЙСТВА (Руководство для врачей) / Под ред. и с предисл. В. А. Богословского. М.: Медицина, 1986. 384 с. Ц. 2 р. 50 к.

Человечество сегодня подвергается глобальному стрессу, главными причинами которого являются возросший темп жизни, загрязнение среды обитания, угроза всеобщего уничтожения. По данным Всемирной организации здравоохранения, депрессия становится одной из самых распространенных форм психических (и прежде всего эмоциональных) расстройств.

Аннотируемая книга посвящена комплексному рассмотрению психосоматических расстройств, в основе которых — телесные страдания, возникшие в результате психических травм. В отличие от зарубежной психосоматической медицины, базирующейся на психоанализе, авторы этой книги исходят в своих построениях в первую очередь из работ советских физиологов и психологов-клиницистов.

В настоящее время уже не вызывает сомнения, что от 30 до 50 % больных, обращающихся в поликлиники и стационары с соматическими жалобами, являются по существу здоровыми людьми, нуждающимися лишь в некоторой коррекции эмоционального состояния; минимум у 25 % людей с действительно тяжелыми недугами значительную роль в клинической картине играют неврологические черты. Психосоматические расстройства способны имитировать почти любые соматические страдания.

Авторы рассматривают различные психосоматические расстройства и нейрофизиологические механизмы, способствующие их формированию. Даются методы диагностики этих расстройств, принципы врачебной тактики и методы лечения.

Книга адресована врачам. Но общее ознакомление с ее основными положениями могло бы расширить кругозор многих других специалистов.

Философия естествознания

К. Саган. ДРАКОНЫ ЭДЕМА. РАССУЖДЕНИЯ ОБ ЭВОЛЮЦИИ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО РАЗУМА / Пер. с англ. Н. С. Левитиной. М.: Знание, 1986. 256 с. Ц. 60 к.

То обстоятельство, что американский астрофизик Карл Саган написал научно-популярную книгу об эволюции разума, не должно удивить нашего читателя. Ведь более 20 лет назад К. Саганом совместно с советским астрофизиком И. С. Шкловским была написана широко известная в нашей стране книга «Разумная жизнь во Вселенной» (М., 1966). Словом, К. Сагана давно интересуют проблемы происхождения жизни, человека и возможность существования внеземных цивилизаций.

В популярной и увлекательной книге «Драконы Эдема» (американское издание 1977 г.) К. Саган показывает стремительное в сравнении с темпами общей биологической эволюции развитие разума. В придуманном им Космическом календаре, в котором время от гипотетического момента Большого Взрыва до наших дней соответствует земному году, Человек разумный появляется в 22 часа 30 минут 31 декабря (для сравнения: «дата» появления жизни на Земле — 25 сентября). Почему вообще возник разум, почему и каким образом он развивался столь быстро, как отражается история развития на его современном состоянии — все это автор объясняет в контексте своей эволюционной гипотезы, которую совсем кратко можно сформулировать так: «выживает тот, кто умнее». Опираясь на широкий круг нейрофизиологических, психологических, лингвистических, мифологических исследований, автор пытается предложить обобщенную модель функционирования нашего мозга.

Русское издание сопровождается послесловием Д. А. Поспелова, специалиста по проблеме «Искусственный интеллект».

История науки

Дж. Дариус. НЕДОСТУПНОЕ ГЛАЗУ / Пер. с англ. А. С. Доброславского. С предисл. К. В. Чибисова. М.: Мир, 1986. 249 с. Ц. 3 р.

Английскому астроному и популяризатору науки Дж. Дариусу удалось отобрать для этого необычного фотоальбома сто научных фотографий, которые без всякого преувеличения могут считаться историческими. Среди них фотографии ударных волн в воздухе от летящей пули, сделанные Э. Махом; снимки треков α-частиц в «туманной камере», полученные ее изобретателем Ч. Вильсоном; фотографии звезд вблизи солнечного диска, снятые во время солнечного затмения 1919 г. для проверки общей теории относительности; картина дифракции электронов на золотой фольге, сфотографированная Дж. П. Томсоном; изображения самого далекого видимого астрономического объекта — квазара и действующего вулкана на спутнике Юпитера; снимки процесса редупликации ДНК; фотографии, по которым были открыты планета Плутон и элементарная частица позитрон.

В альбоме много самых первых фотографий — первый рентгеновский снимок, первое фото молнии, первый снимок звездной туманности, первое фото обратной стороны Луны, сделанное советской станцией «Луна-3», первые изображения поверхности Марса. В книге есть даже «портрет» пучка лазерного света, остановленного фотоаппаратом на лету. Не все эти изображения получены с помощью привычных фотоматериалов, но каждое из них сыграло особую роль в науке. По словам составителя, главным критерием отбора была научная ценность снимка и наличие в нем информации, недоступной глазу при прямом наблюдении.

Многие найденные Дж. Дариусом снимки неизвестны даже историкам фотографии, как неизвестны и некоторые факты, приводящиеся в обстоятельных и живо написанных комментариях.

В СКРИПТОРИИ КНЯЗЯ КУРБСКОГО

Н. К. Гаврюшин,
кандидат философских наук

Москва

Ученая деятельность князя Андрея Михайловича Курбского (1528—1583), знаменитого писателя и политического деятеля эпохи Ивана Грозного, мало известна даже тем, кто изучает историю России XVI в. Потомок Владимира Мономаха, внук первого казанского воеводы, Курбский первую половину своей жизни отдал ратному делу. В двадцатилетнем возрасте он сопровождает царя Ивана IV в походе на Казань; в 1552 г., едва оправившись от ранения в победоносном сражении с татарами под Тулой, участвует в последнем казанском походе, командуя «правой рукой» армии, а в 1560 г. возглавляет все московское войско в Ливонии.

Предвидя неизбежную опалу, Курбский с ближними боярами в 1564 г. бежит из Юрьева (Дерпта) к польскому королю Сигизмунду-Августу. Получив от него ряд имений и обосновавшись в Ковеле, Курбский развернул широкую литературную деятельность. Здесь им был написан ряд посланий к Ивану Грозному, «История Великого князя Московского», «История Флорентийского собора» и др.

Во второй половине XVI в. Юго-Западная Русь испытывала мощное воздействие протестантской и католической пропаганды. Политический эмигрант, Курбский не стал изменником веры. Не вполне подготовленный к интеллектуальным сражениям, он воскрешает в памяти беседы со знаменитым своей ученостью монахом Максимом Греком (ок. 1475—1556), прибывшим в 1518 г. по приглашению Московского правительства из афонского православного монастыря на Русь.

Последние годы жизни Максим Грек провел в Троице-Сергиевой лавре, где, проездом в Москву из своих ярославских владений, с ним и мог встретиться Курбский. Так обстояло дело или иначе, но именно Максим Грек привлек особое внимание князя к сочинениям Иоанна Дамаскина (ок. 675—ок. 749), византийского богослова, церковного песнотворца и ученого-энциклопедиста.

> Он тот певец, меж всеми знаменитый,
> Что разогнал иконоборства тьму,
> Чьим словом ложь попрана и разбита,—

писал в поэме «Иоанн Дамаскин» А. К. Толстой.

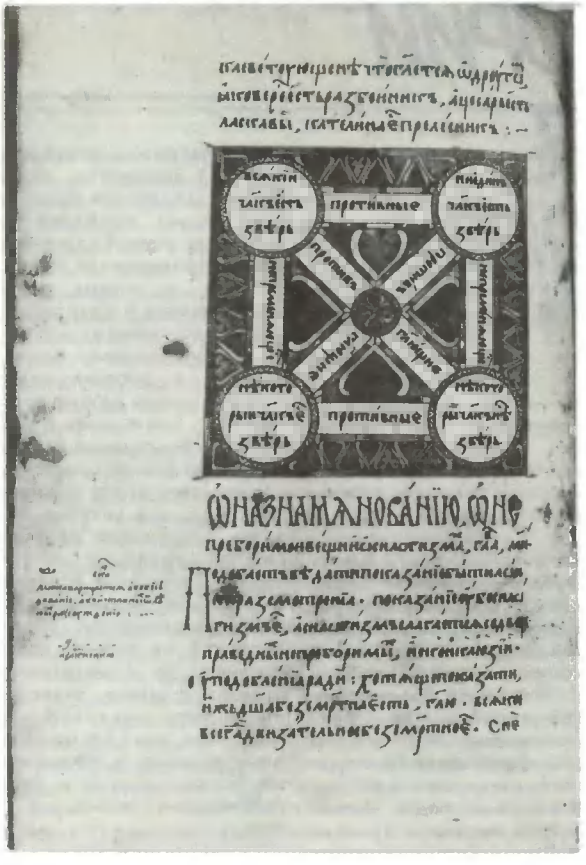
В середине XVI в. древние иконоборческие идеи (борьба с почитанием икон) были возрождены протестантскими богословами. Для споров с ними, а также и для дискуссий с католиками («латинами»), полемика с которыми шла в несколько иной плоскости, сочинения Иоанна Дамаскина были крайне необходимы. Курбский решает исправить старый славянский перевод «Богословия» Иоанна Дамаскина, а потом перевести «Диалектику» и некоторые другие его сочинения.

«Богословие» Иоанна Дамаскина в русских рукописях часто получало другое название: «Книга, глаголемая Небеса». Оно как бы подчеркивало своеобразную космологическую направленность этого сочинения. И действительно, читатель находил здесь основанное на аристотелевской традиции натурфилософское описание Вселенной и, в частности, астрономических и метеорологических явлений. Курбский не только исправлял перевод, но и комментировал отдельные места, записывая на полях свои «сказы». Естественнонаучная тема не оставила его равнодушным, а, возможно, даже и подтолкнула к изучению собственных сочинений Аристотеля.

Из предисловия к «Новому Маргариту» (составленной князем антологии из сочинений Иоанна Златоуста)[1] мы знаем о занятиях Курбского аристотелевской «Физикой» и «Никомаховой этикой». «Прочитах, разсмотрях физическия, и обучахся в навыках етическия»,— пишет он, а в примечании поясняет: «Физика есть книга Аристотельская, коя в себе замыкает прироженную, або естественную философию, и есть зело премудра»[2].

[1] В настоящее время этот труд издается в Западной Германии по рукописи Вольфенбюттельской библиотеки.

[2] Цит. по: Оболенский М. А. О переводе князя Курбского сочинений Иоанна Дамаскина // Библиографические записки. 1858. № 12. Стлб. 360.



Страница рукописи «Толкования на дщицу категорий» (Государственный Исторический музей. Собр. А. И. Хлудова) с изображением логического квадрата, выражающего соотношения общеутвердительных, общеотрицательных, частноотрицательных и частноутвердительных суждений. В кругах — примеры таких суждений: «Всякий человек есть зверь», «Ни один человек есть зверь», «Некоторый человек не есть зверь», «Некоторый человек есть зверь». Стороны и диагонали квадрата показывают отношения между ними.

С «Физикой» Аристотеля Курбский знакомился, скорее всего, по латинскому переводу, так как в греческом он не был достаточно силен, а славянского перевода еще не существовало. В свое время Т. И. Райнов высказал сомнения в том, что князь был подготовлен к усвоению сложного отвлеченного содержания этой книги[3]. Сомнения эти, как мы увидим ниже, совершенно необоснованны. Но коль скоро они имели место, позволим себе указать на то, что упоминания об аристотелевской «Физике», а именно ссылки на начало ее пятой книги, мы неоднократно встречаем в пометах на полях списков переложения «Диалектики» Иоанна Дамаскина (вопросно-ответной редакции). Эта редакция была составлена в конце XVI— начале XVII вв., и уже один из первых ее читателей сопоставляет текст Иоанна Дамаскина с тезисами Аристотеля, обнаруживая прекрасное знакомство с его «Физикой».

Примечания Курбского к переводу «Богословия» Иоанна Дамаскина отражают его знакомство с астрономической и метеорологической литературой. Так, в маргиналии по поводу планет (напомним, что «планета» — в переводе с греческого обозначает «блуждающая») Курбский замечает: «блудящие сего ради нарицаютъся, ижъ овогда (что иногда.— Н. Г.) по праву Солнца, овогда же по леву грядут, не якоже Солнце, яже под единою чертою ходит, которая черта еклиптика нарицается»[4]. А слова византийского писателя «и облаки родятся нисходящеи сладкои воде» он поясняет следующим образом: «сладкая вода, из моря вытягаемая от Солнца, обращается в мглу, которая приидет в среднюю часть воздуху, тамо от студени аера згущается и растопляется от Солнца, альбо от других звезд, и бывает дожч»[5].

К работе над переводом «Диалектики» Курбский привлек Михаила Андреевича Оболенского, молодого отпрыска черниговских князей. Курбский, по собственным воспоминаниям, «умолил» Оболенского поехать в Краков и в Италию для совершенствования в латыни и философских науках, чтобы приступить к ответственному труду во всеоружии. Текст Иоанна Дамаскина был подвергнут ими значительной переработке: произведена перестановка отдельных частей, сделаны сокращения, добавлены порой весьма пространные пояснения на полях. Но самое любопытное, что Курбский вставил в сочинение византийского писателя собственные дополнения.

В распоряжении Курбского находился «Тривий» Иоанна

[3] Райнов Т. И. Наука в России XI—XVII вв. М.; Л., 1940. С. 186.

[4] Попов А. Н. Описание рукописей и каталог книг церковной печати библиотеки А. И. Хлудова. М., 1872. С. 106.

[5] Там же. С. 107.

Спангенберга, напечатанный на латинском языке в Будишине (Бауцене) в 1560 г. Из этого учебника, содержавшего изложение грамматики, диалектики и риторики, Курбский заимствовал схему так называемого «логического квадрата» и пояснительный текст к ней. Под названием «Толкование на дщицу (схему.— Н. Г.) категорий» он был включен в перевод «Диалектики» после главы о силлогизмах. Необходимость подобной интерполяции была обусловлена тем, что учение об умозаключении у Иоанна Дамаскина изложено очень скупо, а Курбский на практике имел возможность убедиться в логической сноровке католических богословов.

В текст «Диалектики» Курбский ввел также составленное им самим на основании нескольких источников «Сказание о древе Порфирия»[6]. Оно содержит исторические сведения о знаменитом философе-неоплатонике, комментаторе логических сочинений Аристотеля, жившем в III в. н. э. Порфирий был убежденным язычником, противником христиан: «пять надесять против нашего благочестия книг оставил»,— отмечает Курбский. Но это обстоятельство не мешает князю ценить научные заслуги Порфирия, установившего соотношение логических сказуемых, так называемых предикабилий. Нужно заметить, что, в отличие от Порфирия и следующего ему Иоанна Дамаскина, Курбский в своем «Сказании» не включает в число предикабилий случайный признак, но, подобно арабским логикам X в., вводит индивидуальное, проявляя тем самым самостоятельность позиции. При работе над «Сказанием» Курбский пользовался вышеназванным «Тривием» Спангенберга, византийским энциклопедическим словарем X в., так называемым «Лексиконом Свиды», а также некоторыми другими источниками, установить которые пока не удалось.

Древо Порфирия — логическая схема родо-видовых отношений. Фрагмент рукописи «Сказания...» князя Курбского (Государственный Исторический музей. Собр. А. И. Хлудова).

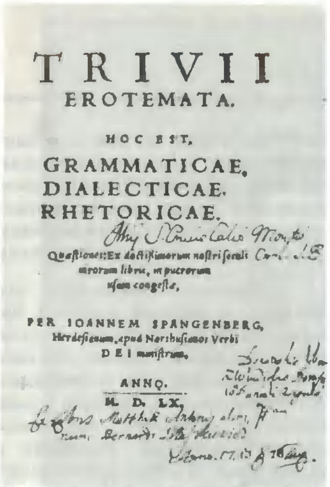
«Древо Порфирия» сыграло значительную роль не только в истории логики, но в конечном итоге и в создании ботанической и зоологической систематики, классификации наук и т. п. Поэтому посвященное этой классической схеме «Сказание» Курбского можно считать одним из важнейших памятников древнерусской научной мысли, а самого князя — одним из первых русских логиков.

Во времена Курбского славянское книгопечатание еще только набирало силы, и основным способом распространения сочинений оставалось переписывание рукописей. Есть основания полагать, что Курбский содержал при своем дворе хороший скрипторий — книгописную мастерскую, в которой квалифицированные писцы переписывали набело и украшали миниатюрами переводы и послания князя.

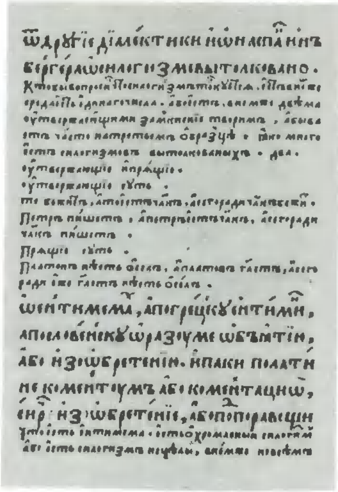
Однако Курбскому мы обязаны и первой русской печатной книгой по логике, появление которой также связано с его работой над переводом «Диалектики». Стремясь дать русскому читателю возможно более подробные сведения о силлогизме, Курбский присоединил к «Диалектике» небольшое переводное сочинение «От другие диалектики Иоанна Спанъинъбергера о силогизме вытолковано». В 1586 г., через три года после смерти Курбского, это сочинение, без выходных данных, было напечатано в Вильно (место и время издания установлены косвенным путем). Любопытно, что мелкий шрифт и бумага этой книжки обнаруживают удивительное сходство с Острожской Библией Ивана Федорова, отпечатанной во Львове в 1580—1581 гг.,— одним из шедевров русского первопечатника.

Первая русская печатная книга по логике известна в настоящее время всего в двух экземплярах, впервые открытых и изученных К. В. Харламповичем в 1900 г. Однако о существовании ее можно было догадываться и раньше на основании рукописной копии конца XVI в. из собрания Чудова монастыря (№ 236). Примечательно, что в этой рукописи с переводом Курбского «От другие диалектики...» соседствует анонимное натурфилософское сочинение «О знамениих небесных». Коль скоро из предисловия к «Новому Маргариту» и маргиналий к «Богословию» Иоанна Дамаскина нам известно об интересе Курбского к физике, астрономии и метеорологии, естественно задаться вопросом: не мог ли сам князь

[6] Публикацию см.: Памятники науки и техники. 1984. М., 1986. С. 232—235.


TRIVII
EROTEMATA.
HOC EST,
GRAMMATICAE,
DIALECTICAE.
RHETORICAE.
Quaestiones: Ex doctissimorum nostri seculi virorum libris, in puerorum usum congestae,
PER IOANNEM SPANGENBERG,
Herdesianum, apud Northusianos Verbi DEI ministrum.
ANNO.
M. D. LX.

Титульный лист «Тривия» Иоанна Спангенберга (1560).



Первый лист первой русской книги по логике «От другие диалектики...», напечатанной в Вильно в 1586 г.

быть его автором? Свидетельства южно-русского происхождения и некоторые другие текстологические особенности делают такое предположение вполне правдоподобным.

В сочинении «О знамениих небесных» содержатся параграфы о солнечных и лунных затмениях, рассуждения о форме и природе Луны: «Луна образом яко яблоко, половина еи огнена, другая же Адамант камень, еже и хребет видится». Синодический месяц определен здесь с большой точностью — 29 сут 12 ч 44 мин.

Наибольший интерес в этом сочинении представляет четвертый параграф, посвященный северным сияниям: «О столпех яже преходят по воздуху». В нем мы встречаемся со своеобразной попыткой дать объяснение этому явлению. После захода Солнца, рассуждает автор, когда оно движется под Землей, при ясном воздухе «некиа малыя луча испод земли прострутся к воздуху на севере и явится на въздусе светло, яко дуга, или яко скатерть прегнута во всю нощь», т. е. в темную часть неба. «И· от того воздушнаго светлена блистание обретается на окиане море». Когда же на море происходит волнение, это блистание отражается в воздухе «светлыми столпами». Примечательно, что далее автор предлагает читателю проверить свое предположение опытным путем: «Разумеи от сего: постави во окне на солнце сосуд с водою; движиму же сосуду и воде колеблющи и абие в храмине той внутрьюду вверху по покрову от воды тоя солнечныя луча»[7].

Мысль о возможности «смоделировать» природное явление весьма необычна для натурфилософской книжности XVI в. Экспериментальный метод в науке утвердится лишь в начале XVII столетия. Остальные разделы сочинения «О знамениих небесных» посвящены кометам, «денницам», дождю и снегу, облакам, ветрам и землетрясениям. По своему содержанию эта часть текста мало чем отличается от обычных средневековых натурфилософских компиляций, известных на Руси примерно с XII в., но особенно распространившихся в XV—XVI вв.

Имеющиеся в нашем распоряжении доводы в пользу того, что Курбский был автором или во всяком случае составителем трактата «О знамениих небесных», к сожалению, недостаточны для окончательного суждения. Бесспорно лишь, что составитель был современником Курбского, также жил на Юго-Западной Руси и порой пользовался синтаксическими средствами, характерными и для сочинений князя. Соседство его труда с переводной статьей Курбского в Чудовском сборнике может быть и случайным. Устранить все сомнения сможет только скрупулезный лингвистический анализ или появление новых фактов.

[7] Чтения в Об-ве истории и древностей российских. 1881. Кн. 2. С. 57—58.

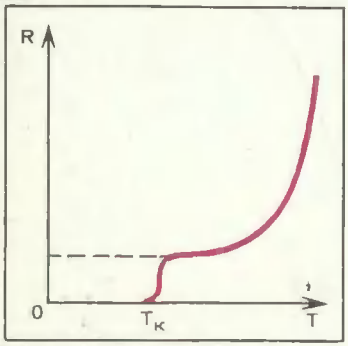
В СЛЕДУЮЩЕМ НОМЕРЕ

Общая теория систем, эта «кибернетика без математики», возникла и сложилась как законченная наука именно в нашей стране усилиями естествоиспытателей, в первую очередь А. А. Богданова, и нашла применение в самых различных областях естествознания, в том числе в биологии.

Малиновский А. А. ОБЩАЯ ТЕОРИЯ СИСТЕМ В БИОЛОГИИ

Богатый материал для размышлений о поведении древнейших на Земле беспозвоночных животных дают нам окаменевшие следы их жизнедеятельности.

Федонкин М. А. ИСКОПАЕМЫЕ СЛЕДЫ



В конце 1986 г. — начале 1987 гг. были созданы высокотемпературные сверхпроводники с критической температурой около 100 К. Поражает, что они были изготовлены не из какого-то экзотического материала, который можно получить лишь с огромным трудом, при специальной обработке и строгой дозировке состава. Напротив, новые сверхпроводники отнюдь «не капризны» и получаются весьма кустарным способом — путем спекания керамики из известных химических соединений.

Гинзбург В. Л. ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ (МЕЧТА СТАНОВИТСЯ РЕАЛЬНОСТЬЮ)

Благодаря высокой проникающей способности гамма-лучей с их помощью можно исследовать области космического пространства с очень большими температурами и среду вокруг экзотических объектов, где велика плотность частиц сверхвысоких энергий.

Вольфендейл А. ГАММА-АСТРОНОМИЯ

Нынешний «парапсихологический бум» не уникален в истории. Находясь на пороге XXI в., постигнув многие тайны природы, человечество тем не менее не научилось отделять непознанное от сверхъестественного и, как следствие, не потеряло веры в чудеса: телепатию, телекинез, сказочное биополе, т. е. во все то, что принято называть парапсихологией.

НАУКА ПРОТИВ ПАРАНАУКИ

Файвишевский В. А. Когда новое — хорошо забытое старое

Подъяпольский П. П. Об отгадывании мыслей

Подъяпольская В. П., Подъяпольская Е. П., Раменская Е. П. О нашем отце письма Н. И. Вавилова П. П. Подъяпольскому

Цена 80 к.
Индекс 70707

Природа. 1987. № 6. 1—128.