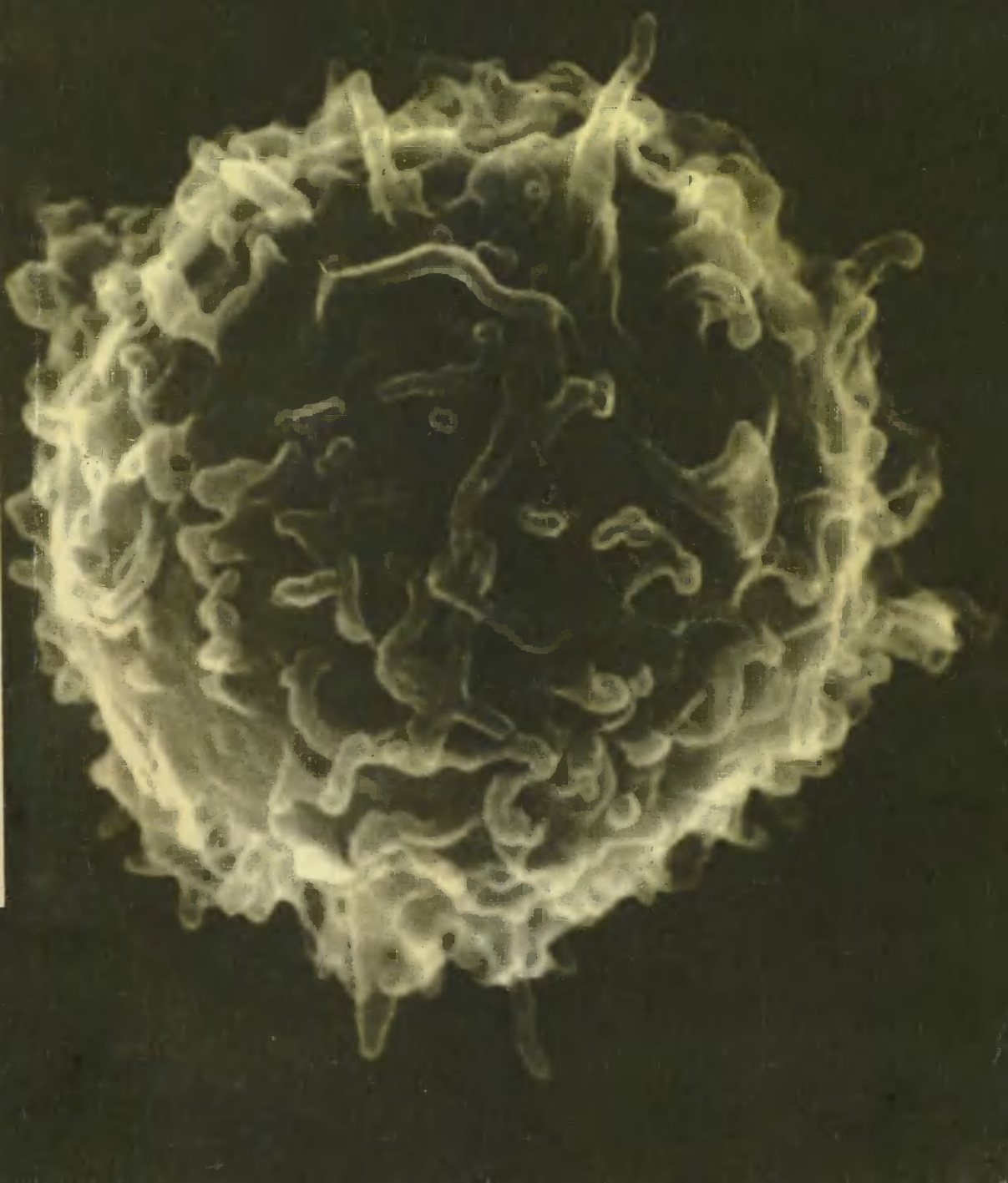
ISSN 0032 — 874X

10 1984 ПРИРОДА



ПРИРОДА

Ежемесячный
популярный
естественнонаучный
журнал
Академии наук СССР

Основан в 1912 году

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
академик
Н. Г. БАСОВ

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

Доктор физико-математических наук
Е. В. АРТЮШКОВ

Академик
Д. К. БЕЛЯЕВ

Член-корреспондент АН СССР
Р. Г. БУТЕНКО

Доктор географических наук
А. А. ВЕЛИЧКО

Член-корреспондент АН СССР
В. А. ГОВЫРИН

Член-корреспондент АН СССР
И. Р. ГРИГУЛЕВИЧ

Член-корреспондент АН СССР
Г. А. ЗАВАРЗИН

Член-корреспондент АН СССР
В. Т. ИВАНОВ

Доктор физико-математических наук
Н. П. КАЛАШНИКОВ

Доктор физико-математических наук
С. П. КАПИЦА

Академик
Б. М. КЕДРОВ

Доктор физико-математических наук
И. Ю. КОБЗАРЕВ

Кандидат физико-математических наук
А. А. КОМАР

Академик
Н. К. КОЧЕТКОВ

Доктор геолого-минералогических наук
И. Н. КРЫЛОВ

Доктор философских наук
Н. В. МАРКОВ

Доктор экономических наук
В. А. МЕДВЕДЕВ

Ответственный секретарь
В. М. ПОЛЫНИН

Доктор исторических наук
П. И. ПУЧКОВ

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

Доктор философских наук
Ю. В. САЧКОВ

Заместитель главного редактора
доктор биологических наук
А. К. СКВОРЦОВ

Академик АН УССР
А. А. СОЗИНОВ

Академик
В. Е. СОКОЛОВ

Доктор геолого-минералогических наук
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора
кандидат технических наук
А. С. ФЕДОРОВ

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

Член-корреспондент АН СССР
В. Е. ХАИН

Член-корреспондент АН СССР
Р. Б. ХЕСИН

Доктор физико-математических наук
А. М. ЧЕРЕПАЩУК

Доктор физико-математических наук
В. А. ЧУЯНОВ

№ 10 (830) октябрь 1984

В НОМЕРЕ

Петров Р. В. От искусственных антигенов к искусственным вакцинам 3

Организм человека далеко не всегда может справиться с инфекцией, поскольку целый ряд возбудителей не вызывает необходимого иммунного ответа. Победить такие инфекции можно только с помощью искусственных вакцин, принцип получения которых уже разработан.

Комплексное исследование человека: место психологии. Интервью с Б. Ф. Ломовым 13

И естественные, и общественные науки должны быть гармонически сопряжены в системном исследовании человека. Являясь равноправным партнером в комплексном человековедении, психология помогает налаживать конструктивный диалог между различными областями познания.

Малинин С. Д. Гидротермальный процесс глазами физикохимика 21

Неожиданные свойства воды и растворенных в ней электролитов обнаружились при высоких температурах и давлениях, свойственных земным недрам. Это позволило с количественных позиций подойти к вопросу о природе гидротермальных рудных месторождений.

Сегаль А. Н. Одомашнивание животных продолжается 30

Хотя одомашнивание началось на заре цивилизации, число видов домашних животных невелико. Сейчас этот процесс продолжается: на разных стадиях одомашнивания находятся животные, которых разводят в пушном звероводстве.

Пармузин Ю. П. Карст в мерзлых грунтах 34

Выясняется, что на севере в грунтах, скованных мерзлотой, растворение пород и образование пещер, пустот, воронок нередко идет не менее интенсивно, чем на юге.

Кусакин О. Г. Гигантский равноногий рак 41

Гигантский батиномус, выловленный вблизи Филиппинских островов,— самое крупное и примитивное беспозвоночное животное из отряда равноногих раков.

Трасс Х. Х. Экологическое мышление и Байкал 43

Действенность природоохранных мероприятий, правильность их выбора определяются экологической культурой специалистов. Важно, чтобы каждый человек, причастный к охране природы, вполне владел этой культурой.

Курт В. Г. Атомы межзвездной среды в Солнечной системе 50

Межзвездная среда — один из интереснейших объектов астрофизики. Движение Солнца в этой среде создает эффект «межзвездного ветра», который изучался в советско-французском космическом эксперименте.

Гурвиц Л. И. «ИРАС» наблюдает галактики и квазары 58

Не будет преувеличением сказать, что Вселенная, «увиденная» приборами инфракрасного астрономического спутника «ИРАС»,— это мир пыли.

Курносов В. Б. Новый проект глубоководного бурения дна океана 62

С октября 1984 г. начнется новый этап глубоководного бурения дна океана. Предназначенное для этого судно «Седко-472» во многом превосходит «Гломар Челленджер».

Ниязова М. В. Насекомые в наших домах 64

Издревле рядом с человеком в его доме живут различные насекомые. Сегодня в связи с ростом больших городов, освоением новых территорий и усилением торговых контактов городска энтомофауна становится многочисленнее и пополняется новыми, порой экзотическими видами.

ИЗЛУЧЕНИЕ ВАВИЛОВА — ЧЕРЕНКОВА: 50 ЛЕТ ОТКРЫТИЯ 74

Пятьдесят лет назад в это едва заметное голубое свечение мало кто верил. Спустя четверть века его открытие и объяснение были отмечены Нобелевской премией. Сегодня — это одна из самых ярких страниц истории советской науки.

От люминесценции к новому свечению. Интервью с **П. А. Черенковым** 75

Франк И. М. Из истории открытия излучения Вавилова — Черенкова 81

Болотовский Б. М. Излучение быстрых частиц в преломляющей среде 87

Пурмаль А. П., Скурлатов Ю. И. Экологическая химия водной среды 94

Наука о катализе, кроме традиционной сферы своего применения — технологии — распространяется в сферу экологии. Можно надеяться, что в деле сохранения чистоты природных вод ей удастся повлиять на разрешение все обостряющегося конфликта между этими двумя сферами.

НОВОСТИ НАУКИ 103

Зеленые водоросли и нефть (103) • Запуски космических аппаратов в СССР (май — июнь 1984 г.) (104) • Экспедиция на «Салюте-7»: май — июнь 1984 г. (104) • Спутник «Лэндсат-5» (105) • Странное поведение Гипериона (106) • Как образовались гигантские планеты (106) • Мощный нагрев термоядерной плазмы (107) • Мочевина в лазере на красителе (108) • Моделируется эволюция земной атмосферы (108) • Молекулярная масса полимера при замораживании увеличивается (109) • Первый химический синтез природной РНК (109) • Витамин С и вирусы (109) • Дофамин и шизофрения (110) • Простагландины — регуляторы сна? (110) • Роль формы напечатанного слова при чтении (111) • Гипофизный гормон, стимулирующий секрецию инсулина (111) • Зачем человеку нужны бактерии? (111) • Могут ли насекомые узнавать своих родичей? (112) • Короед вторгся в Великобританию (112) • Кооперация у пауков и клопов (113) • Почему лиса не замужем? (114) • Растение-паразит против растения-паразита (114) • Британские леса (114) • Интоксикация детей свинцом через почву (115) • Ассимиляционная емкость Мирового океана (115) • Переоценка мировых запасов нефти (116) • Геолого-геофизические исследования в Баренцевом море (116) • 94-й рейс «Гломара Челленджера» (117) • Первый кругосветный полет монгольфьера (118) • Крупнейшие карстовые полости мира и СССР (119) • Новый метеоролого-океанологический проект (119) • Изображение спирали в неолите Приохотья (120)

РЕЦЕНЗИИ

Киселев Л. Л. От классической генетики к генетике «подвижной» (на кн.: Р. Б. Хесин. Непостоянство генома) 120

Кнунянц И. Л. Химики всех времен (на кн.: В. А. Волков, Е. В. Вонский, Г. И. Кузнецова. Химики. Биографический справочник) 123

НОВЫЕ КНИГИ 124

Бокштейн Б. С. Атомы блуждают по кристаллу (124) • **Ваганов П. А.** Физики дописывают историю (124) • **Франклин Т., Сноу Дж.** Биохимия антимикробного действия (125) • **Мирзоян Э. Н.** Развитие сравнительно-эволюционной биохимии в России (125) • **Сребродольский Б. И.** Янтарь. (125) • Экологические аспекты городских систем (126) • **Леви-Строс Клод.** Печальные тропики (126)

В КОНЦЕ НОМЕРА

Рылов А. Мой папа «майонез». Сочинение ученика 7 А класса В. Сергеева на тему «Кем я хочу стать?» 127

От искусственных антигенов к искусственным вакцинам

Р. В. Петров

Рем Викторович Петров, академик АМН СССР, директор Института иммунологии Министерства здравоохранения СССР, председатель Всесоюзного научного общества иммунологов. Область научных интересов — изучение механизмов работы иммунной системы, искусственная регуляция иммунного ответа, а также разработка и получение искусственных вакцин. Автор многих книг и монографий, в том числе: Иммуногенетика и искусственные антигены. М., 1983; а также первого учебного пособия: Учебник по иммунологии. М., 1982.

Бурное развитие современной иммунологии и высокий уровень физико-химической биологии позволяют подойти к решению таких задач, которые еще вчера казались неосуществимыми. В нашей статье речь пойдет о создании искусственных вакцин — препаратов, обеспечивающих прочный иммунитет против той или иной инфекции.

Борьба с инфекционными заболеваниями — это, прежде всего, своевременная профилактика, которая, по существу, и есть создание стойкого иммунитета. Непременным условием возникновения иммунитета служит образование в организме специфических белков — антител — в ответ на проникновение чужеродных агентов — антигенов.

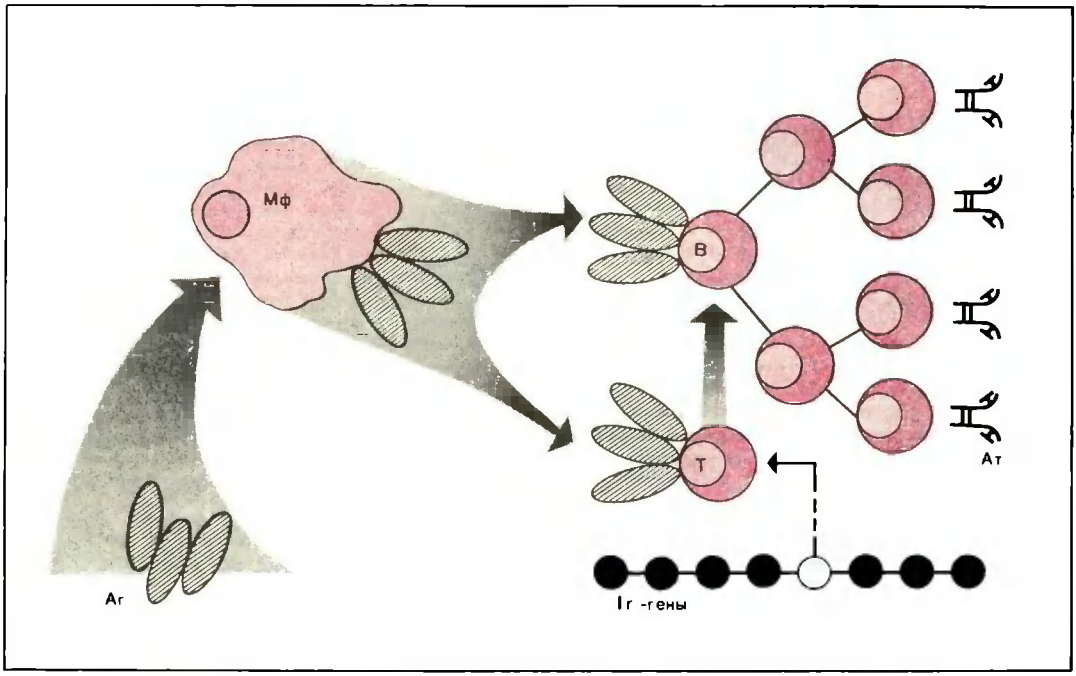
Антиген — это конкретное биоорганическое соединение, поэтому принципиальной разницы между искусственным и естественным антигеном нет, кроме степени чистоты препарата. Задача получения искусственного антигена сводится к трем конкретным этапам: выделение биологически активного соединения, расшифровка его молекулярной структуры и синтез. Сегодня проблема искусственных антигенов уже полностью решена современной биоорганической химией, поскольку любое искусственно синтезированное физиологически активное соединение суть искусственный антиген.

Иное дело — искусственные вакцины. Вакцина сама по себе — образование более сложное, чем антиген. Антиген, несмотря на свою подчас сложную структуру и наличие нескольких специфических, ответственных за взаимодействие с антителом участков (так называемых антигенных детерминант), представляет собой одно вполне определенное соединение. Естественные же вакцины, используемые в повседневной практике, это препараты из ослабленных или убитых возбудителей инфекционных болезней или препараты выделенных из них антигенных субстанций. Очевидно, что в этом случае мы имеем дело с многокомпонентной смесью различных веществ с огромным количеством балластных, в том числе и высокотоксичных примесей из микробных клеток, питательной среды, из клеток, на которых выращиваются вирусы. В этом главный недостаток обычных вакцин: ведь для создания иммунитета нужны всего 1—2 антигенные молекулы, а в организм вводится сотня сложнейших комплексов. Отсюда тяжелые реакции, в том числе и аллергические, осложнения после прививок.

Сначала перед исследователями стояла задача — максимально очистить вакцину от посторонних примесей.

Проблема очистки особенно актуальна в отношении уже существующих вакцин. Речь идет о так называемых побежденных инфекциях, таких как оспа, корь, полиомиелит и др. Имеющиеся в настоящее время вакцины, конечно, загрязнены многочисленными плохо контролируемыми примесями и потому зачастую токсичны, но они есть. Здесь проблема искусственных вакцин сводится к очистке, повышению их безвредности, а также к созданию единой многокомпонентной вакцины, работающей сразу против многих инфекций. В перспективе нужно создать нечто вроде бус, в которых каждая бусинка — это антигенная молекула, ответственная за иммунитет против определенного возбудителя или его токсина. Первые шаги в этом направлении уже делаются.

Сегодня перед проблемой получения искусственных вакцин стоит особая, принципиально новая задача — не просто синтез чистых антигенных детерминант, а создание препарата, который обеспечил бы развитие иммунитета даже в том случае, когда в естественных условиях против данного антигена иммунитета не возникает. Поясним это положение следующими примерами. У человека, переболевшего воспалением легких, малярией, гриппом и некоторыми другими инфекциями, нет иммунитета к повторному заражению этими возбудителями, хотя они безусловно, несут соответствующие чужеродные человеку антигены. Это значит, что, даже имея нужный антиген с известным строением, вызвать иммунитет нельзя. Следовательно, нужно создать такой биоорганический комплекс, который обеспечил бы стойкий иммунный ответ организма на данный антиген, вопреки его низкой генетически об-



Условная схема кооперативного взаимодействия трех типов клеток при инициации синтеза антител в ответ на чужеродный антиген.
Молекулы антигена (Ar) «узнаются» поверхностными рецепторами Т- и В-лимфоцитов (соответственно Т и В). Т-лимфоцит включается специальным комплексом молекул, находящихся на поверхности макрофага (Мф), при этом в Т-лимфоците вырабатываются факторы, стимулирующие В-лимфоцит. Под действием двойного сигнала — антигена и стимулирующего Т-клеточного фактора — В-лимфоциты начинают размножаться и превращаться в клетки, вырабатывающие антитела (Ат), способные специфически связывать молекулы антигена. Сила иммунной реакции на антиген предопределена генами иммунного ответа (IR-генами), влияние которых реализуется только через Т-лимфоциты; число и функциональная активность В-клеток не зависит от работы IR-генов.

условленной реактивности. Только в этом случае искусственные вакцины будут существенным шагом вперед по сравнению с естественными вакцинами. Ведь копирование антигенов или антигенных детерминант в лучшем случае приведет к получению вакцин без балласта, но не решит проблемы непобежденных инфекций. А именно эта цель стоит при разработке искусственных вакцин.

Особенно большие надежды возлагаются на искусственные вакцины в борьбе с непобежденными инфекциями, т. е. с такими, против которых до сих пор нет надежных вакцин. Среди них можно назвать паразитарные инфекции (в том числе малярию), ряд вирусных заболеваний: грипп, гепатит, африканскую чуму свиней и другие инфекции сельскохозяйственных животных, некоторые инфекции кишечной группы у людей и сельскохозяйственных животных, а также венерические болезни.

Такое положение объясняется тем, что антигены большинства возбудителей перечисленных инфекций относятся к категории так называемых слабых антигенов, т. е. против них не развивается выраженный иммунный ответ.

И хотя вакцины изготавливаются по пастеровскому принципу (с использованием ослабленных антигенов) уже более 100 лет, до сих пор оставалось загадкой, почему после введения ослабленных или убитых вакцин или выделенных из них антигенов в ряде случаев иммунитет не возникает.

Причины такой низкой реактивности организма были обнаружены лишь в последнее десятилетие: были открыты гены иммунного ответа, так называемые IR-гены, вскрыты механизмы генетического контроля силы иммунного ответа (за эти работы Дж. Снеллу, Б. Бенацераффу и Ж. Доссе присуждена Нобелевская премия 1980 г.). Оказалось, что имеются IR-гены высокого и низкого ответа к определенным антигенам. Если индивидуум или большая часть популяции содержит IR-ген низкого ответа к главным антигенам, скажем вируса гриппа, то создать у этой группы высокий иммунный ответ известными способами невозможно. Поскольку генный контроль осуществляется на уровне Т-лимфоцитов — клеток, вырабатываемых в тимусе, значит, генетически предопределенную слабую реактивность можно преодолеть, только непосредственно воздействуя на систему других иммунных клеток — на В-систему. Именно такой подход и позволил найти способ стимуляции иммунитета вопреки изначально низкой реактивности.

ИСКУССТВЕННЫЕ АНТИГЕНЫ

Первые искусственные антигены, представляющие собой химические модифицированные природные белки, были синтезированы в начале 30-х годов К. Ландштейнером[1] и представляли собой комплексы белка с простыми химическими соединениями (например, с аминобензойной кислотой). Они сыграли большую роль в развитии молекулярной иммунологии: с их помощью было введено понятие детерминантной группы антигена, т. е. группы, определяющей специфичность всей макромолекулы; была продемонстрирована способность антител различать малейшие отличия в антигенных детерминантах (так, простой замены одной химической группировки на другую или изменения местоположения какой-либо группировки было достаточно, чтобы выработались антитела другой специфичности).

В 60-х годах начался следующий этап в развитии проблемы искусственных антигенов — иммунологическое изучение синтетических пептидов[2].

Синтетические полиаминокислоты (гомополимеры), например полилизин или полиаланин, неантигенны. Полидипептиды и особенно политрипептиды со случайной последовательностью аминокислотных остатков (так называемые рандомные сополимеры), напротив, антигенны, если их молекулярная масса составляет несколько тысяч или несколько десятков тысяч дальтон, при этом антигенность зависит от соотношения компонентов сополимера. Линейные сополимеры проявляют как антигенные различия между собой, так и антигенную общность, что связано с наличием тождественных и различающихся участков аминокислотных последовательностей. Замены одного аминокислотного остатка в цепи достаточно, чтобы получить новый антиген.

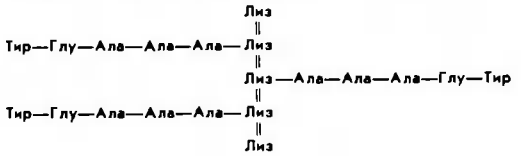
Сополимеры с разветвленными цепями, состоящие из большого количества (например, четырех) аминокислот, обладают еще большей антигенной активностью. Был получен полимер, у которого к полилизиновой цепи присоединены цепочки из полиаланина с остатками тирозина (или фенилаланина) и глутаминовой кислоты. Та-

---

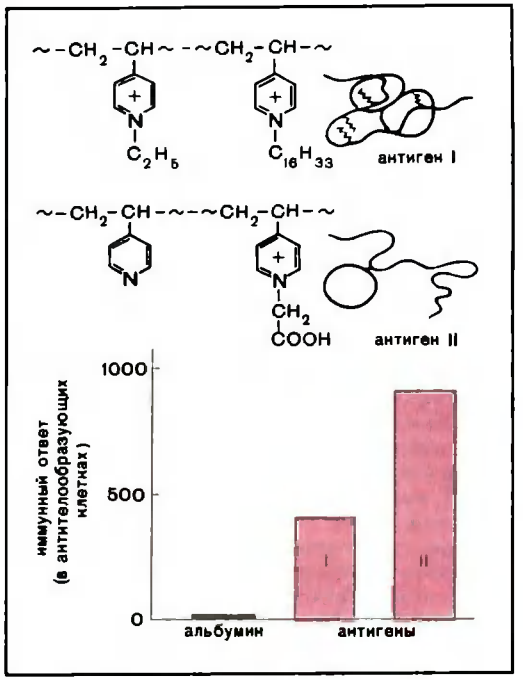
[1] Landsteiner K. The Specificity of Serological Reactions. Springfield, 1936.

[2] Maurer P. H., Gerulat B. F., Pinchuck P.— J. Immunol., 1963, v. 90, p. 381; McDevit H., Sela M.— J. Exp. Med., 1965, v. 122, p. 517.

кие искусственные антигены имеют структуру (Т, Г)—А—Л или (Ф, Г)—А—Л:



Именно с помощью таких сополимеров были открыты первые гены иммунного ответа — IR-гены у мышей.



Модельные искусственные антигены — комплексы альбумина с производными поли-4-винилпиридина. Вверху — химическая структура использованных полиэлектролитов — иммуностимуляторов и схематическая структура синтетических антигенов на их основе. Антиген I — это комплекс, в котором альбумин соединен с полиэлектролитом солевыми и гидрофобными связями; антиген II — конъюгат ковалентно связанных альбумина и полиэлектролита. На диаграмме указан уровень специфического иммунного ответа на антигены альбумина после введения в организм экспериментальных животных антигенов I и II и чистого альбумина. Видно, что наиболее сильная иммунная реакция против детерминант альбумина развивается при введении антигена II.

Оказалось, что полилизин и другие гомополимеры, сами не обладающие антигенной активностью, успешно выполняют функцию носителей гаптенов. (Гаптенами называют простые соединения, которые сами по себе не стимулируют выработки антител, но при соединении с белковой молекулой приобретают эту способность.)

В этом случае «ландштейнеровские» конъюгированные антигены становятся полностью искусственными: природный белок заменяется гомополимерами, а роль антигенной детерминанты выполняют детерминанты, присоединенные к полилизину,— полностью синтетические антигены, стимулирующие у животных выработку соответствующих антител.

В 1971 г. М. Села с соавторами получили фрагмент куриного лизоцима (с 60 по 83 аминокислотный остаток), который соответствует участку белковой молекулы, образующему «петлю»[3]. У кроликов, иммунизированных этой «петлей», соединенной с полиаланином, накапливались антитела, которые специфически взаимодействовали как с искусственным пептидом, так и с целой молекулой лизоцима.

Следует подчеркнуть две важных для последующего изложения особенности. Во-первых, все искусственные полипептиды, включая модифицированные гаптенами, очень слабые антигены (для получения иммунного ответа на них требуются повторные иммунизации с добавлением сильных стимуляторов). Во-вторых, искусственные антигены данного типа представляют собой модификацию или имитацию природных, а именно белковых антигенов.

В 1977 г. автор статьи с коллегами синтезировали первый искусственный антиген, использовав в качестве носителя неприродный поликатион поли-2-метил-5-винилпиридин (ПВП), а в качестве гаптена — тринитрофенол (ТНФ)[4].

Этот искусственный антиген по свойствам был не только похож на природный, но вызывал иммунный ответ без дополнительного стимулирования. Сам носитель гаптена, как и другие углеводородные полиэлектролиты, является мощным иммуностимулятором[5]. Это свойство дало возмож-

---

[3] Arnon R., Maron E., Sela M., Anfinsen C.— Proc. Nat. Acad. Sci USA, 1971, v. 68, p. 1450.

[4] Петров Р. В., Евдаков В. П. и др.— Доклады АН СССР, 1977, т. 236, № 5, с. 1260.

[5] Петров Р. В., Хаитов Р. М., Атауллаханов Р. И. Иммуногенетика и искусственные антигены. М., 1983.

ность конструировать искусственные вакцины на основе неприродных полиэлектролитов. Искусственный антиген ТНФ-ПВП оказался тимус-независимым, т. е. стимулировал выработку антител даже иммунологически дефектных бестимусных животных, т. е. животных, у которых нет тимуса, а значит, и Т-лимфоцитов.

Второй полностью синтетический антиген на неприродном полиэлектролитном носителе был получен той же группой исследователей и представлял собой конъюгат (Т, Г)—А—Л с производным полиакриловой кислоты[6]. Так же как предыдущий комплекс, он стимулировал выработку соответствующих антител после однократной инъекции без каких-либо дополнительных стимуляторов и был не только тимус-независимым, но и проявлял независимость от IR-генного контроля иммунного ответа. Иначе говоря, антитела вырабатывались не только у животных с высокой реактивностью на данный антиген, но и у тех, для которых этот антиген был слишком слабым.

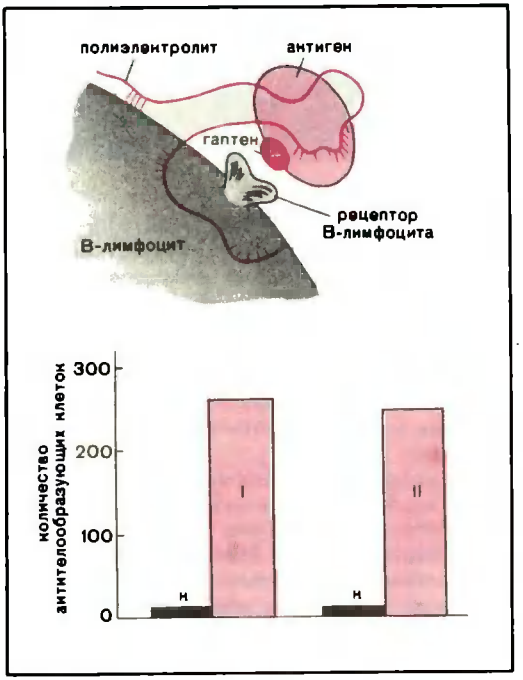


Схема взаимодействия комплекса антиген-полиэлектролит с поверхностью В-лимфоцита. Антигенная детерминанта — гаптен — связывается со специальным рецептором на В-клетке, а участки молекулы полиэлектролита, свободные от контактов с антигеном, кооперативно взаимодействуют с белками и липидами мембраны. Только за счет многоточечного кооперативного взаимодействия полиэлектролита с В-клеточной поверхностью В-лимфоцит самостоятельно без помощи стимулирующего Т-клеточного фактора включается в иммунную реакцию. Значит, комплекс антиген-полиэлектролит несет в самом себе двойной сигнал, достаточный для активации В-лимфоцита даже без участия Т-клеток. На диаграмме отражена сила иммунного ответа у мышей с полноценной Т-лимфоидной системой (I) и у мышей с глубоким врожденным дефицитом Т-системы или полным отсутствием тимуса (II) при введении им чистого альбумина (к — контроль) или комплекса альбумин-электролит. В организме Т-дефицитных мышей развивается выраженный иммунный ответ на детерминанты альбумина только при иммунизации комплексом альбумин-полиэлектролит.

ИСКУССТВЕННЫЕ ПОЛИПЕПТИДЫ ВИРУСОВ И БАКТЕРИЙ

В 1963 г. появилось первое сообщение о том, что небольшой пептидный фрагмент белка из вируса табачной мозаики стимулирует синтез антител против целого вирусного белка и данного вируса[7]. Иммунизация животных этим фрагментом (гексапептидом), соединенным с бычьим сывороточным альбумином, приводила к выработке антител против вируса табачной мозаики. И хотя гексапептид был выделен, а не синтезирован, тем не менее это был первый шаг по пути создания искусственных иммуногенов.

Следующий шаг в этом направлении был сделан в 1976 г., когда М. Села и его сотрудники не только выделили вирусный пептид P_2 размером в 20 аминокислот (89—108) из колифага MS-2, но и синтезировали его[8]. Полученный фрагмент присоединили к полиаланину и ввели кроликам. Искусственный иммуноген стимулировал выработку антител, взаимодействующих с целым белком и нейтрализующих исходный бактериофаг.

Спустя пять лет был синтезирован еще один пептидный фрагмент дифтерийного токсина, состоящий из 14 аминокислот (118—201), замкнутых, подобно петле лизоцима, дисульфидным мостиком[9]. Этот пептид, связанный с белком, стимулировал у морских свинок выработку антител, которые нейтрализовали дифтерийный токсин,

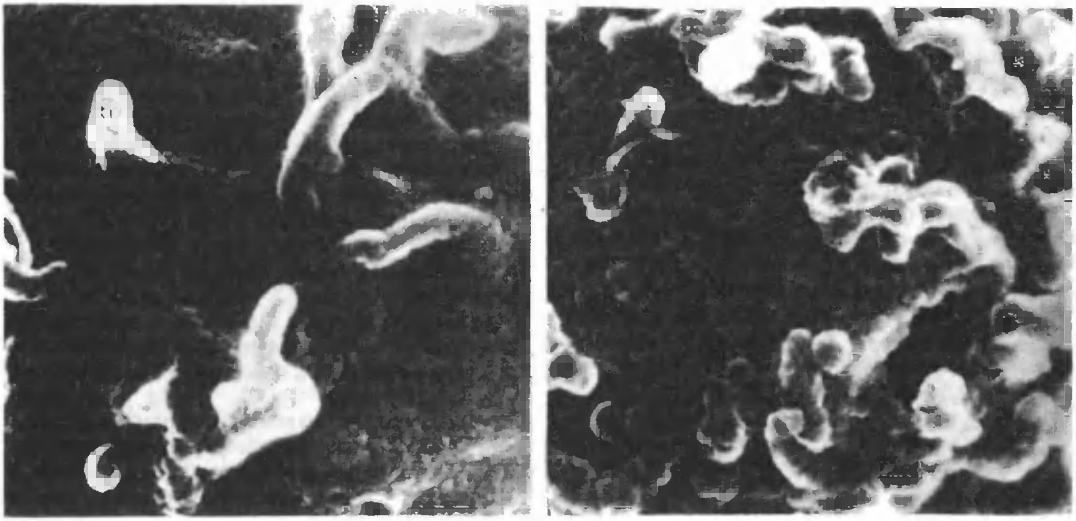
---

[6] Петров Р. В., Хаитов Р. М.— Ж. микробиол., эпидемиол. и иммунобиол., 1982, № 12, с. 22.

[7] Anderer F.— Biochim. Biophys. Acta., 1963, v. 71, p. 246.

[8] Langbeheim H., Arnon R., Sela M.— Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1976, v. 73, p. 4636; Arnon R., Sela M. et al.— Ibid., 1980, v. 77, p. 6769.

[9] Audibert F., Zolivet M. et al.— Nature, 1981, v. 281, № 5798, p. 593.



Электронные микрофотографии фрагмента мембраны интактного (слева) и активированного полиэлектролитом (справа) лимфоцита. Хорошо заметно, что они различаются размером зерен мембранной матрицы. Произошедшее после активации укрупнение зерен, вероятно, отражает процесс образования множества комплексов молекул полиэлектролита с интегральными белками мембраны.

т. е. выполнял функцию искусственного иммуногена.

За последние три года число работ, посвященных искусственным иммуногенам с вакцинирующим эффектом, значительно возросло. Группа М. Села синтезировала пептид, соответствующий аминокислотной последовательности 91—108 из гемагглютинина (HA1) — поверхностного белка вируса гриппа. Этот фрагмент молекулы гемагглютинина имеется у целого ряда разновидностей вируса гриппа. Такие консервативные участки молекулы антигена представляют наибольший интерес для создания вакцины, эффективной сразу против ряда разновидностей возбудителя. В данном случае в качестве несущего белка для создания иммуногена использовали тетанустоксоид (белок, выделенный из возбудителя столбняка), являющийся достаточно сильным антигеном[10].

Группа Р. Лернера синтезировала двадцать пептидов из разных участков молекулы HA1[11]. Эта серия пептидов размером от 14 до 20 аминокислот охватывала 75 % всей молекулы. Каждый пептид соединяли с гемоцианином улитки, используемым в качестве белка-носителя. Практически все полученные комплексы стимулировали выработку антител, нейтрализующих вирус гриппа.

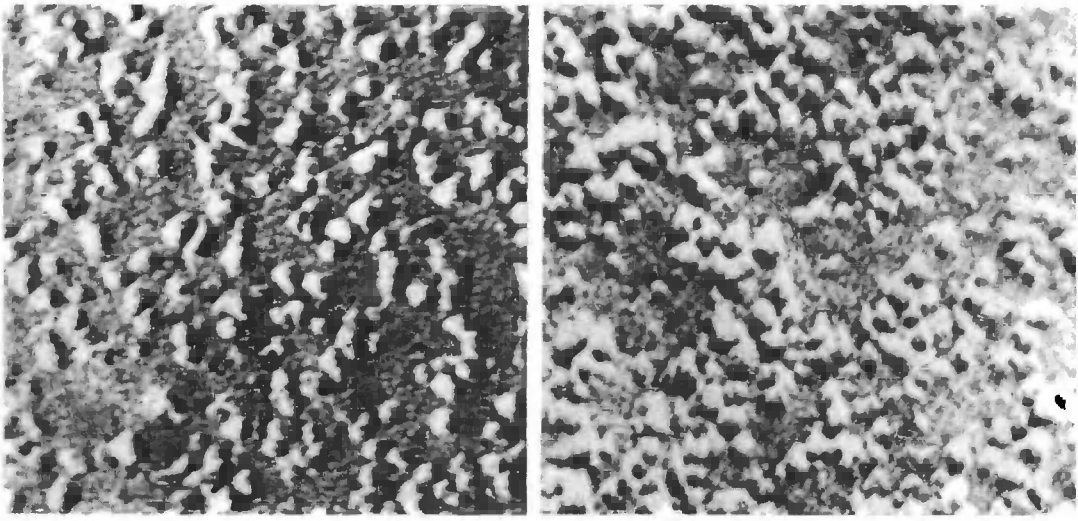
Серьезные исследования проведены с одним из белковых антигенов вируса ящура — VP1-антигеном. Из расшифрованной последовательности в 213 аминокислот был выбран участок, который наиболее сильно варьирует у разных серотипов вируса, т. е. определяет иммунологические разновидности возбудителя. В Институте исследований вирусов животных (Великобритания) синтезировали пептид, состоящий из 20 аминокислот (141—160)[12]. В Институте биоорганической химии АН СССР химики получили фрагменты этого вируса из 15 аминокислот (145—159) и его части (149—159, 149—156 и 145—156)[13]. В первом случае носителем служил гемоцианин улитки, во втором — бычий сывороточный альбумин, гемоцианин и некоторые другие белки. Все комплексы обладали иммуно-

[10] Müller G., Shapiro M., Arnon R.— Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1982, v. 79, p. 569.

[11] Lerner R. A.— Scient. Amer., 1983, v. 248, № 2, p. 66.

[12] Arnon R., Sela M.— Recherche, 1983, № 142, p. 346.

[13] Вольпина О. М., Суровой А. Ю. и др.— В сб.: 16-я Конференция ФЕБО. Тезисы докладов. М., 1984, с. 369.



Электронные микрофотографии фрагмента мембраны интактных (слева) и активированных поликатионом (справа) клеток. В мембранах интактных клеток видны отдельные белковые образования, а в активированных клетках — кластеры белков, состоящие из многих десятков молекул.

генностью, были начаты испытания вакцинирующих эффектов.

Примеры создания искусственных иммуногенов можно было бы продолжить. Получены аналогичные результаты для возбудителя гепатита В, вируса бешенства, некоторых возбудителей кишечной группы бактерий[14]. Однако во всех случаях пептиды или фрагменты полисахаридов, выделенные из реальных антигенов или синтезированные химическими, а также генно-инженерными методами, проявляют чрезвычайно низкую иммуногенность. Даже «посаженные» на естественные белковые или полипептидные носители, они требуют повторных иммунизаций и сильных стимуляторов.

Таким образом, сегодня уже можно четко выделить 5 основных этапов создания синтетических антигенов:

накопление биомассы микроорганизма, продуцирующего инфекционное начало;

выделение высокоочищенного перспективного антигена белковой или полисахаридной природы;

анализ первичной структуры молекулы антигена;

разработка искусственного (химического или генно-инженерного) синтеза данной антигенной молекулы или ее части, ответственной за антигенность;

наработка искусственного антигена (создание технологии).

Эти этапы на сегодня — в основном технологические. Принципиальные научно-исследовательские разработки касаются главным образом выбора перспективного антигена или перспективного фрагмента из целой антигенной молекулы. Говоря о перспективных антигенах или их фрагментах, мы не имеем в виду укоренившееся в вакцинном деле понятие о протективных (защищающих) антигенах, т. е. о тех, которые после выделения из микроорганизма оказывают наибольший иммунизирующий эффект. При конструировании синтетических антигенов и искусственных вакцинирующих комплексов наиболее перспективными могут оказаться слабые антигены, ранее относимые к непротективным, т. е. такие, против которых удастся стимулировать иммунный ответ при низкой природной реактивности организма, и те, которые являются наиболее общими для разновидностей данного возбудителя.

В этой статье мы не рассматриваем генно-инженерный синтез вирусных или па-

[14] Петров Р. В. Иммунология и иммуногенетика. М., 1976; Покровский В. В., Тендетник Ю. Я. и др.— Ж. микробиол., эпидемиол. и иммунобиол., 1983, № 4, с. 65.

разитарных антигенов, хотя такие работы уже проводятся. Так, ДНК, кодирующая один из антигенных пептидов (VP1) вируса ящура, встроенная в геном в E. coli, начала продуцировать этот антиген; ДНК, кодирующую некоторые антигены вируса гепатита В, внедрили в высокоиммуногенный вирус коровьей оспы для получения живой гибридной вакцины[15].

СИНТЕТИЧЕСКИЕ НОСИТЕЛИ ДЛЯ ИСКУССТВЕННЫХ ИММУНОГЕНОВ И ВАКЦИН

После открытия IR-генов стало очевидным, что один и тот же организм (генотип) может быть высокореактивным на одни антигены и низкореактивным на другие. И наоборот, один и тот же антиген может стимулировать высокий иммунный ответ у одних генотипов и низкий у других. Иначе говоря, с иммуногенетической точки зрения, понятия «сильный» и «слабый» антигены однозначны понятиям «высокореагирующий» и «низкореагирующий» генотипы организмов, воспринимающих данные конкретные антигены. В иммунологии возникла совершенно новая, в высшей степени перспективная для вакционного дела задача — найти пути превращения генетически низкореагирующих на данный антиген особей в высокореагирующие, т. е. провести фенотипическую коррекцию. Это стало возможным благодаря обнаружению клеточных механизмов иммунного ответа. Антиген взаимодействует со структурами HLA макрофага и в таком виде распознается Т-лимфоцитом. Предшественник антителопродуцентов В-лимфоцит также распознает антиген и получает дополнительный сигнал включения от стимулированного Т-лимфоцита. Без помощи Т-лимфоцита В-лимфоцит в большинстве случаев работать не начинает. Подача Т-лимфоцитом включающего сигнала контролируется IR-генами. Поиски средств обхода Т-клеточного и IR-генного контроля привели Р. В. Петрова, В. А. Кабанова и Р. М. Хаитова к обнаружению высокоэффективных в этом отношении веществ — неприродных полиэлектролитов с молекулярной массой от 10 до 100 кД и общей для всех способностью к многоточечным кооперативным взаимодействиям[16]. Введение этих веществ в организм иммунизируемых животных активировало миграцию Т- и В-лимфоцитов, способствовало их взаимодействию и в большой мере замещало вспомогательную функцию Т-лимфоцитов: в присутствии этих веществ В-лимфоциты включались антигеном без помощи Т-лимфоцитов[17]. Именно на базе этих неприродных носителей были созданы упомянутые выше искусственные антигены с ТНФ (Т, Г)—А—Л антигенными детерминантами. Расчет на то, что могут быть получены Т-независимые и IR-независимые антигены, оправдался. Оставалось проверить, приобретают ли искусственные антигенные комплексы, включающие в себя слабые антигены и полиэлектролитные носители, качества сильных антигенов, стимулирующих иммунный ответ при однократной инъекции и без каких-либо дополнительных стимуляторов.

В качестве модельного антигена был использован бычий сывороточный альбумин, который при однократной иммунизации даже с иммуностимулятором не приводит к заметной выработке антител. Для регистрируемого иммунного ответа требуются повторные иммунизации. Присоединение к белку полиэлектролитных носителей (например, производных поливинилпиридина) дает прекрасный иммунологический эффект: однократное введение такого комплекса стимулирует иммунный ответ в десятки раз.

Аналогичные данные получены с очищенным белковым производным туберкулина (РРД), введение которого мышам не приводит к выработке антител. Однократная иммунизация животных комплексом РРД-поли-4-винилпиридин обеспечивает выработку антител в высоких титрах, более чем в 100 раз превышающих фоновые данные.

Искусственные высокоиммуногенные вакцинирующие комплексы на основе синтетических полиэлектролитов приготовлены с антигенами, изолированными из вирусов гриппа и из сальмонелл. Из вирусов выделен главный поверхностный антиген белковой природы — гемагглютинин. Он конъюгирован с полиэлектролитным носителем и использован для иммунизации мышей. Выработка антител у этих животных увеличилась в 40—50 раз по сравне-

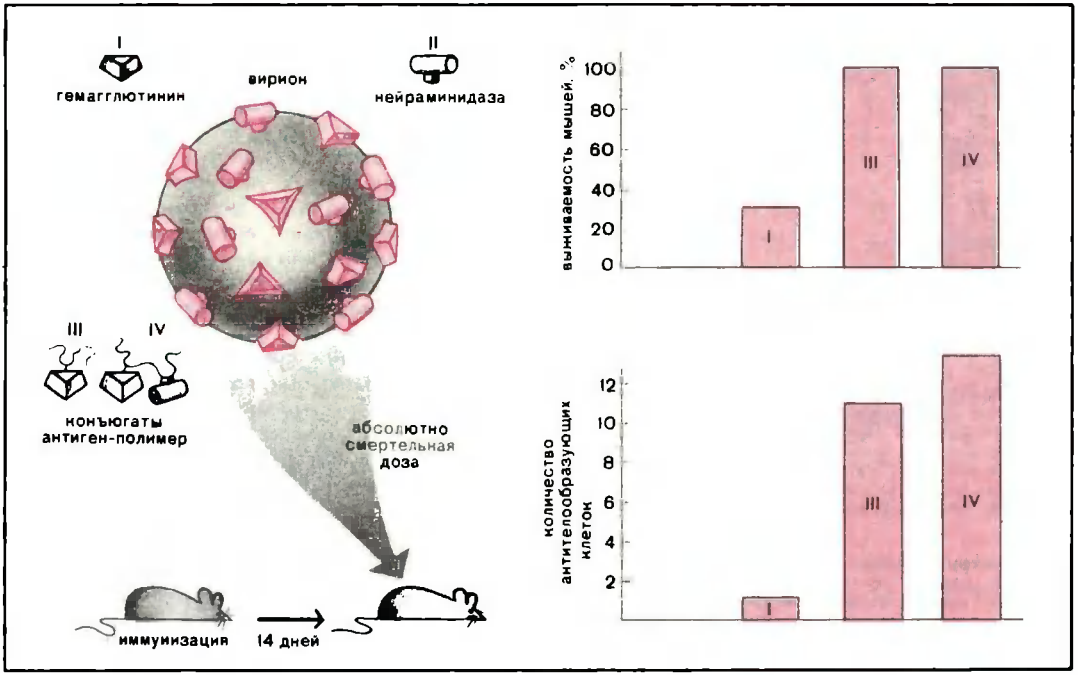
[15] Ада Г. Л.— Здоровье Мира, 1983, № 11, с. 6.

[16] Кабанов В. А., Петров Р. В., Хаитов Р. М.— Ж. Всес. хим. об-ва, 1982, т. XXVII, № 4, с. 57.

[17] Петров Р. В., Жданов В. М., Кабанов В. А., Хаитов Р. М. и др.— Иммунология, 1984, № 4, с. 12.

нию с животными, получавшими неконъюгированный гемагглютинин. При этом происходит 100 % защита животных от заражения дозами вируса, в 20 раз превышающими смертельную. Этого не удается добиться при иммунизации ни гемагглютинином, ни цельной вирусной вакциной даже совместно с иммуностимулятором. Фенотипическая коррекция в этом случае ярко выражена.

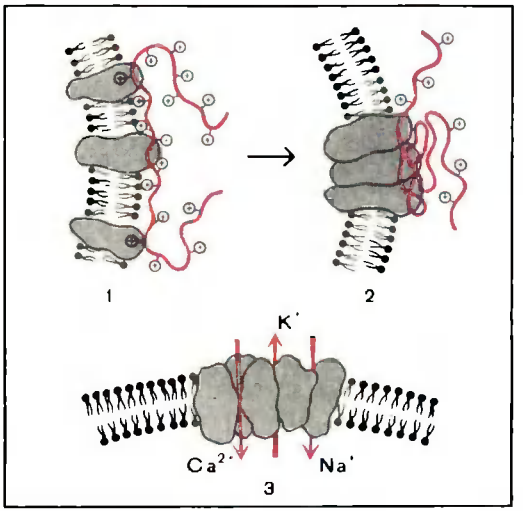
Аналогичный результат был получен и при вакцинации животных искусственной вакциной против сальмонеллоза — первой реальной искусственной вакциной против мышиного тифа — смертельного заболевания этих лабораторных животных. Из возбудителей изолированы два антигена — из тела бактерии (полисахаридный компонент так называемого О-антигена) и из ее жгутиков (так называемый Н-антиген белковой природы). В результате была получена искусственная вакцина, представляющая собой макромолекулярный комплекс, состоящий из полиэлектронной цепи, на которую ковалентно пришиты эти два главные антигена сальмонелл[18]. Заражение иммунизированных этой вакциной животных патогенными сальмонеллами с использованием от 20 до 100 абсолютно смертельных доз микробов показало его необычайно высокую протективную активность. Она в 25—100 раз выше, чем у неконъюгированных антигенов: 100 % животных выживает при использовании смертельных доз, если для вакцинации взято лишь 1—5 мкг конъюгированного антигена[19].



Синтетическая противогриппозная вакцина. На поверхности вириона гриппа представлены белки-антигены — гемагглютинин (I) и нейраминидаза (II). На нижней диаграмме показан уровень иммунного ответа, выраженный в количестве антителообразующих клеток (на 1000 клеток селезенки) после иммунизации мышей гемагглютинином, конъюгатом гемагглютинин-полиэлектролит (III) или тройным конъюгатом гемагглютинин-полиэлектролит-нейраминидаза (IV). Видно, что количество специфических антител после иммунизации конъгатами вирусных белков с иммуностимулирующим полиэлектролитом значительно выше, чем после введения чистого вирусного антигена — гемагглютинина. С высоким уровнем антител коррелирует выживаемость (верхняя диаграмма) экспериментальных мышей, иммунизированных конъюгатами, а затем зараженных абсолютно смертельной дозой инфекционного агента.

[18] Петров Р. В., Кабанов В. А. и др.— Доклады АН СССР, 1983, т. 270, № 5, с. 1257.
[19] Петров Р. В., Жданов В. М. и др.— Доклады АН СССР, 1984, т. 276, № 5, с. 1318.

Эти эксперименты позволили понять механизм действия искусственных иммунизирующих комплексов. Анализ показал, что такие комплексы, благодаря способности полиэлектролитов к многоточечному кооперативному взаимодействию и перекомплексованию, концентрируют антиген на соответствующем лимфоидном клоне В-лимфоцитов, синтезирующем антитела против использованного антигена. Свободные «хвосты» полиэлектролитного носителя взаимодействуют с мембраной и рецепторным аппаратом В-лимфоцита и стимулируют к выработке антител, без участия Т-лимфоцита. Молекулярный механизм активирующего действия полиэлектролита сводится к повышению проницаемости клеточной мембраны для ионов кальция. Поэтому эффективность полиэлектролитного носителя можно повысить, присоединив дополнительные стимулирующие группы (скажем, мурамил-дипептид, ионофорные группы и т. д.), т. е. создав бифункциональные искусственные комплексы носителя с антигенной и стимулирующей компонентами. При этом снимается необходимость участия в иммунном ответе Т-лимфоцитов, через которые реализуется генетический контроль силы иммунного ответа. Высокий иммунный ответ развивается даже у тех организмов, которые несут IR-гены низкого иммунного ответа на данный антиген.



Молекулярный механизм активации иммунокомпетентных клеток искусственными полиэлектролитами. 1 — многоточечное электростатическое и гидрофобное взаимодействие полимера с молекулами клеточной мембраны; 2 — перераспределение молекул мембранных белков и образование их агрегатов (кластеров) в мембране; 3 — быстрое повышение проницаемости клеточной мембраны для одно- и двухвалентных ионов, которое может инициировать цепь последовательных перестроек в клеточном метаболизме и способствовать размножению В-лимфоцитов.

Итак, сегодня получение искусственных вакцин — задача вполне реальная. Уже определены конкретные этапы создания столь нужного препарата:

поиск молекул-носителей, способных стимулировать иммунитет, и в комплексе с антигеном осуществлять фенотипическую коррекцию иммунного ответа в адрес данного антигена;

отработка технологии получения высокоиммуногенных искусственных комплексов «носитель — антиген»; или «носитель — несколько антигенов из разных возбудителей»; или «антиген — носитель — стимулятор»; создание искусственной вакцины; испытание ее эффективности и безвредности.

Получение синтетической копии какого-либо микробного антигена или его фрагмента — это всего лишь технологическое совершенство современного химика-синтетика. Однако если этот антиген был слабоиммуногенен или вовсе неиммуногенен, то и его синтезированная копия не будет иммуногенной. Главная проблема в другом — заставить нереагирующий организм отвечать на данный антиген. Каков будет способ получения (химический синтез, генная инженерия или выделение из микроба) — определит экономика. Более дешевый способ предпочтительнее. Вот почему «эпицентр» всей проблемы искусственных вакцин, ее научная суть — в союзе химиков-биооргаников с иммунологами, необходимом для создания не просто очередной копии природного соединения, а новых макромолекулярных комплексов, обеспечивающих иммунитет, т. е. искусственных вакцин.

Комплексное исследование человека: место психологии

В последние годы наблюдается стремительное возрастание интереса к человеку не только в гуманитарных, но и в естественных науках. Этот процесс отмечен характерными для эпохи НТР чертами: развитыми междисциплинарными контактами, тенденцией к комплексности исследований, интеграцией результатов многих научных дисциплин. Директор Института психологии АН СССР, член-корреспондент АН СССР Б. Ф. Ломов в интервью нашему корреспонденту И. Е. Задорожнюку осветил ключевые проблемы изучения человека как комплексного феномена и точки соприкосновения психологии с естественными и общественными науками в этом изучении.

Борис Федорович Ломов, член-корреспондент АН СССР и АПН СССР, директор Института психологии АН СССР, главный редактор «Психологического журнала», член многих международных психологических обществ. Основные монографии: Человек и техника. М., 1966; Инженерная психология. Теория, методология, практическое применение (в соавторстве с В. Ф. Рубахиным, В. Ф. Вендой). М., 1977; Антиципация в структуре деятельности (в соавторстве с Е. Н. Сурковым). М., 1980; Теоретические и методологические проблемы психологии. М., 1984 и др. Неоднократно печатался в «Природе».

Корреспондент. Есть все основания утверждать, что в современной науке о человеке наступает качественный сдвиг в сторону системности знаний об этом наиболее сложном для изучения феномене. Естественно, что новый этап в изучении человека требует выработки специфического научного метода. Что можно сказать о применении такого метода в психологии? Как он проявляется на разных этажах в здании наук о человеке? На каких этажах человековедения находится многоотраслевая психологическая наука?

Б. Ф. Ломов. Уникальность феномена человека, в жизнедеятельности которого проявляется единство законов природы и общества, создает ему особое положение как объекту исследования. В области человековедения смыкаются интересы фундаментальных общественных и естественных наук, а также основных научно-практических комплексов. Я имею в виду в первую очередь медицинские, педагогические и технические науки. Множественность аспектов изучения человека подчеркивалась одним из крупнейших наших психологов — Борисом Герасимовичем Ананьевым, другими представителями психологической науки.

Общественными науками человек исследуется как основной компонент любой социальной системы, как элементарный и одновременно универсальный носитель со-

циального качества. Он рассматривается и как основная производительная сила общества, и как субъект исторического процесса, и как личность, и как основное действующее лицо воспитательного процесса.

В естественных науках человек исследуется как продукт биологической эволюции, особый вид — Homo sapiens, индивид с присущей ему специфической генетической программой и определенным диапазоном изменчивости, организм как компонент биосферы и во многих других аспектах и измерениях.

Для медицины человек является основным объектом исследования и практической деятельности. Проблемы здоровья и болезни — это прежде всего проблемы здоровья и болезни человека в усложняющейся вокруг него естественной и рукотворной среде. В педагогических науках проблема человека является основной в связи с задачами воспитания и обучения; эти задачи во многом усложнились в связи с последними постановлениями о школе. Психологи активно включились в работу по научному обоснованию учебного процесса, налаживают работу по психологической службе в школе. К проблеме человека обращаются и технические науки в связи с разработкой систем контроля, коммуникаций, управления, а также при создании устройств, имитирующих некоторые человеческие функции в специфических технологических процессах.

Таким образом, потребность в точных и разносторонних знаниях о человеке, о его возможностях и свойствах, об объективных законах его становления обусловлена самой логикой развития современного научного знания. Но дело, конечно, не только в потребностях науки. Не меньшее значение изучение человека имеет для различных областей народного хозяйства. Задача роста производительности труда, особенно выявление человеческого фактора этого роста, развитие техники и технологии, совершенствование систем управления народным хозяйством, улучшение систем образования и здравоохранения, повышение уровня идейно-воспитательной работы, формирование нового человека — все это требует основательной научной разработки класса относящихся к человеку проблем.

При решении практических задач все чаще возникает вопрос о необходимости учета и разумного использования так называемого человеческого фактора. С этим сталкиваются и экономисты, и инженеры, и организаторы производства, и педагоги, и врачи, и пропагандисты. Да пожалуй, трудно назвать такую область практической деятельности, которая не требовала бы учета этого фактора.

Однако, к сожалению, науки, объектом исследования которых является человек, у нас развиваются явно недостаточно, некоторые из них находятся в плачевном состоянии. Так, антропология даже по своему названию — это наука о человеке. Мы не будем здесь оценивать всю науку, но скажем, что она не «наладила диалога» с другими отраслями знания, не заняла надлежащего места в комплексе наук о человеке.

Между тем для будущего, для решения многих крупных задач науки о человеке имеют не меньшее значение, чем науки о природе или науки об обществе.

Каждый ученый, исследуя феномен человека в каком-то определенном аспекте, неизбежно сталкивается с необходимостью заимствовать те или иные данные и методы, которые, по идее, должны бы были быть в пограничных дисциплинах. Но это не всегда удается сделать, так как оказывается, что интересующая его пограничная наука развита слабо. Скажем, психологам для разработки собственных проблем нередко нужно обращаться к генетике, к физиологии человека или конкретной социологии. Но зачастую, просмотрев горы литературы, того, что нужно, не находишь. Думается, что биологи и социологи, обращаясь к психологии, сталкиваются с такой же ситуацией. Речь идет не о взаимных упреках, я просто констатирую реальное положение вещей.

Вот здесь и обнаруживается необходимость использования принципа системности, комплексности в исследовании человека, в способах «упорядочения» знаний о нем. Если иметь в виду общий объем достаточно надежных сведений о человеке, накопленный в разных науках, то он не так уж и мал. Однако собрать из них целостную, логически связанную картину пока еще не удается. Эта картина оказывается очень мозаичной, не сбалансированной, с массой диспропорций и «белых пятен». Ее можно было бы представить в виде отдельных островков знания, разделенных широкими и глубокими пропастями незнания, которые нередко заполняются «мутной водой» невежества.

Нужно отметить, что еще в период установления психологической науки в нашей стране проблема именно комплексного изучения человека определенно была поставлена В. М. Бехтеревым, который и

сам многое сделал в разработке вопросов человековедения. Позднее она поднималась в психологии многими исследователями, в частности особенно ценную работу в этом плане провел Б. Г. Ананьев и целый ряд других ученых.

Надо сказать, что потребность в синтезе данных наук о человеке проявляется в самых разных направлениях, и иногда даже возникают, на первый взгляд, неожиданные комбинации. Некоторое время тому назад состоялось совещание специалистов в области инженерной психологии, изучающей проблемы взаимодействия человека и техники, с одной стороны, и в юридической науке — с другой.

Казалось бы, какая общая проблема может их объединять? Но такая проблема есть, и проблема очень острая, чрезвычайно важная для практики — ошибка человека, управляющего современной техникой, и ответственность за эту ошибку. В ходе совещания выяснилась необходимость решения конкретной, общей для юристов и психологов задачи — определения юридического значения человеческого и личностного факторов при работе в сложных человеко-машинных системах, пересмотра некоторых норм, регулирующих ответственность за непроизвольное правонарушение. Психологи, кроме этого, должны совместно с инженерами, управленцами и т. д. наладить работу по профотбору — не всякому человеку, например, можно летать или управлять полетами. Научно-практическая значимость такого рода работы очевидна.

Корреспондент. В своих выступлениях Вы часто подчеркиваете, что одна из главных задач психологии — понять, как родившийся комочек материи в процессе развития становится человеком, обладающим сознанием и волей, эмоциями и разумом, характером и талантом, выявить стадии этого процесса и его «скрытые пружины». Можно ли утверждать, что крайними верхним и нижним пределами в решении этой проблемы являются биология и социология — науки, сущностно связанные с психологией? Есть такого рода связь или ее надо по-новому обосновывать и устанавливать в наше время — время возрастания интереса к человеку, усиления некоторых негативных тенденций развития глобальных проблем человечества?

Б. Ф. Ломов. Иммануил Кант говорил, что у него вызывают изумление две вещи: звездное небо над нами и нравственный закон внутри нас. Я бы добавил сюда третье величественное и вызывающее изумление явление: становление человека. Психология далеко еще не сказала здесь последнего слова. Но и сказанное уже вызывает очень большой интерес. Может быть, именно поэтому в психологию сегодня стремится талантливая молодежь, да и сформировавшиеся специалисты — обществоведы и естественники, инженеры и медики — «оживляются», приближаясь к проблемам, имеющим психологическое измерение.

Крупнейший психолог нашего времени Ж. Пиаже отмечал, что психология постоянно разрывается между социологией и физиологией. Такое ее специфическое положение в системе наук и создает большие трудности. Но вместе с тем в этом есть и определенные плюсы. Психология начинает все чаще и чаще выполнять роль связующего звена между естественными и общественными науками. Во всяком случае в области тех проблем, которые относятся к изучению человека.

Сегодня человек изучается весьма разветвленной системой научных дисциплин, которые включают несколько десятков отдельных направлений. И число этих дисциплин и направлений будет возрастать.

Вообще говоря, дифференциация наук, изучающих человека, как и любых других наук является закономерным и прогрессивным процессом. В каждой специальной дисциплине накапливаются такие данные, которые не могут быть получены любой другой специальной дисциплиной. Однако каждая из них исследует только какую-то одну часть или аспект изучаемого объекта или системы явлений, что таит в себе опасность потери целостного представления. Это особенно важно по отношению к наукам о человеке. Следует помнить поэтому, что данные, полученные в разных дисциплинах, относятся к одному и тому же объекту исследования. Идет ли речь о генетических или физиологических, психологических или социологических законах развития индивида — подразумевается один и тот же объект: человек в его целостности.

Нет же в организме человека, в его голове, руках, сердце и т. д. отдельных секций для реализации законов, изучаемых разными науками. Человек и его различные органы и свойства включены в многоаспектные и разнообразные связи и отношения с действительностью, но он живет и действует как единое целое.

Буквально на двух страницах «Капитала» К. Маркса дается, к примеру, описа-

ние того, как включаются в процесс труда «принадлежащие его (человека.— Б. Л.) телу естественные силы» (руки и ноги, голова и пальцы); такие психические свойства как «целесообразная воля, выражающаяся во внимании»; наконец, способность предвидеть в конце результат труда, «который уже в начале этого процесса имелся в представлении человека, т. е. идеально»[1].

С моей точки зрения, задача синтеза знаний, накапливаемых в разных науках — естественных, общественных и прикладных,— сейчас становится одной из важнейших.

Человек как объект научного исследования представляет собой сложнейшую систему. Его связи и взаимоотношения с окружающим миром весьма многообразны, а потому многообразны и его свойства, и его качества.

Как утверждают философы, существуют три главные категории качеств: материально-структурные, т. е. задаваемые строением объекта, функциональные, т. е. вытекающие из функций объекта, и системные, т. е. определяемые принадлежностью объекта к той или иной системе.

Науки, изучающие человека, имеют дело со всеми тремя категориями. В то же время непонимание специфики разных категорий нередко приводит к довольно серьезным ошибкам, я бы сказал, к тупиковым вариантам в научных исследованиях.

Примером здесь может быть френология, которая пыталась выводить психические свойства человека из строения его мозга, якобы жестко связанного со строением черепа. Сюда же относятся поиски укорененности темперамента, характера и даже мировоззрения человека в типе его телосложения, форме различных органов и т. д.

Вопрос об объективных «телесных» основаниях различных свойств человека чрезвычайно сложен, и сейчас еще нельзя сказать, что мы ясно представляем себе пути исследования и систематизации связей этих оснований и свойств.

При попытке классификации различных психологических свойств индивида, рассматриваемых как свойства функциональные, возникло предположение, что существуют, по-видимому, свойства первого, второго и более высоких порядков, т. е. некоторая «пирамида» свойств. К сожалению, это общее представление пока еще не стало достаточно обоснованным и наполненным конкретным содержанием. Я думаю, что разработка представления о пирамиде свойств человека вряд ли может быть осуществлена силами одной только психологической науки. Здесь необходим ее союз с физиологией, генетикой, вообще с биологией человека, с одной стороны, и с общественными науками — с другой.

Самыми сложными среди всех качественных определенностей являются, конечно, системные качества, заслуга открытия которых принадлежит К. Марксу. Анализ этого открытия очень хорошо дан в книге В. П. Кузьмина «Принцип системности в теории и методологии К. Маркса». Являясь интегральными, они недоступны прямому наблюдению и могут быть выявлены только путем анализа тех систем, к которым принадлежит человек и закономерностям которых он подчиняется.

В науках о человеке отчетливо выделяются две таких системы, два плана анализа. Одна из них это отношение «человек — общество», другая — «человек — природа». Сейчас нет необходимости доказывать, что основными отношениями человека и мира являются те, которые определяют его принадлежность к социальной системе. Пожалуй, скорее иногда приходится доказывать, что человек является не только социальным феноменом, но и природным существом.

Как известно, до К. Маркса общество обычно рассматривалось лишь как стохастический результат прихотливого сочетания действий отдельных индивидов. Вопрос об объективных законах развития общества не ставился, а если и ставился, то решался он в духе либо идеалистических, либо механистических представлений. Впервые в истории науки К. Маркс подошел к истории развития общества как к объективному процессу. Недаром Ф. Энгельс и В. И. Ленин сравнивали заслугу К. Маркса в общественных науках с заслугой Ч. Дарвина в биологии.

Марксизм разработал стройную теорию развития общественных отношений. Я хотел бы только отметить в ней один важный, с моей точки зрения, момент. Иногда общественные отношения представляются как что-то находящееся вне конкретных людей, как некоторая внешняя по отношению к людям сила. Однако для индивида общество — это не просто некая общая среда. Здесь схема «организм — среда» вряд ли может многое дать. Очевидно, научная задача заключа-

[1] Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 23, с. 188—189.

ется в том, чтобы рассмотреть, каким образом человек включается в систему общественных отношений как деятельный субъект. И это дало бы возможность понять его поведение и многое другое.

Именно в этом плане человек должен рассматриваться как основной компонент любой социальной системы, носитель социального системного качества.

Проблема социальных качеств человека как качеств, порождаемых его принадлежностью к обществу, разработана пока еще, к сожалению, недостаточно. И вряд ли она может быть разработана, осуществлена только силами общественных наук. Мне представляется совершенно необходимым участие в таких работах по крайней мере психологических наук, прежде всего социальной, исторической, педагогической, этнической психологии, психологии личности и некоторых других.

Разработка единой концепции свойств человека, начиная от материально-структурных и до системных включительно — с учетом разных порядков каждой категории, может быть осуществлена только совместными усилиями представителей ряда наук. И я думаю, что решение этой задачи в рамках комплекса наук о человеке могло бы сыграть не меньшую роль, чем знаменитая система Д. И. Менделеева в химии.

Важная плоскость исследования человека в плане анализа его системных качеств определяется отношением «человек — природа». Как отмечал Ф. Энгельс, уже самый факт происхождения человека из животного царства обусловливает собой то, что человек никогда не освободится полностью от свойств, присущих животному. Разрабатывая теорию исторического развития общества, К. Маркс отмечал, что человек есть телесное, обладающее природными силами, живое, чувственное, предметное существо.

Но что значат эти «природные силы», что значит «телесная организация индивидов»? Эти вопросы адресованы в основном к естественным наукам. Здесь как и в общественных науках обнаруживаются разные планы анализа, поскольку система отношений «человек — природа» не менее сложна, чем система отношений «человек — общество».

Пожалуй, долгое время основное внимание в изучении этой системы уделялось анализу строения и функций человеческого организма, т. е. брался организменный тип организации живого, если пользоваться терминологией В. И. Вернадского. Между тем, по Вернадскому, существует по крайней мере четыре типа организации живого: организменный, популяционно-видовой, биоценотический и биосферный. Популяционно-видовой и биоценотический уровни в науках о человеке исследовались значительно меньше, чем организменный. И еще меньше исследовалось отношение «человек — человечество — биосфера».

Я, конечно, не рискнул бы даже в виде попытки дать классификацию уровней и аспектов тех связей, которые характеризуют отношения «человек — природа». Но одно кажется несомненным — эти связи многомерные и многоуровневые. Видимо, в исследованиях отношений «человек — природа» нужно говорить также о разных порядках свойств человека — и материально-структурных, и функциональных, и системных.

Одну из труднейших научных задач представляет выявление объективных связей социальных и природных свойств человека, т. е. проблема соотношения биологического и социального в развитии человека. Не нужно думать, что есть какое-то универсальное решение этой проблемы. По-видимому, на разных уровнях человеческой жизни, на разных этапах развития человека, как в фило-, так и в онтогенезе, эти соотношения складываются по-разному.

Общепризнанными являются положения, что природа человека есть продукт истории и что действие биологических законов в развитии человека опосредствуется законами социальными. Однако в конкретном научном плане эти положения еще не получили достаточно строгого раскрытия. Дискуссии по так называемой биосоциальной проблеме до сих пор ведутся на весьма абстрактном уровне. Причин здесь, конечно, много: и чрезвычайная сложность проблемы, и вместе с тем нечеткость постановки конкретных задач, и неразвитость ряда важных для решения этой проблемы дисциплин, и многое другое.

Представляется, что в деле разработки этой проблемы или даже целой области этих проблем, очень важная роль принадлежит психологии, которая, по-моему, до сих пор недооценивается. Я имею в виду не общественное мнение о ней. В последнее время психология даже стала модной наукой, я имею в виду другое.

В ходе исследования в какой-либо науке часто возникают проблемы по существу психологические. Но это иногда не осознается, а если осознается, то проблема часто решается при помощи, я бы сказал,

доморощенных концепций. Очень многие, а может быть даже и большинство проблем психологической науки, принадлежат к числу тех, разработка которых требует опоры на данные как естественных, так и общественных наук.

Корреспондент. Думается, что в данном вопросе мы приближаемся к проблеме специфичности комплексного подхода к личности. Личность — одно из центральных понятий психологической науки. И, пожалуй, одно из наиболее сложных. Ответы, даваемые исследованиями психологов в этом направлении, интересны представителям всех наук — не только гуманитарных, но также естественных и технических. В чем психология видит единство и разнообразие личности? Как характеризуются ее свойства и структурные элементы?

Б. Ф. Ломов. Свойства личности также выступают как системные. Вопреки толкованиям некоторых буржуазных психологов, выводящих социальное из психологического (общество из малых групп, а малые группы из характеристик индивидов), марксизм идет другим путем. То, как понимается общество, ведет и к определенному толкованию личности. Свойства личности развиваются в том числе и в зависимости от того, к какой социальной группе личность принадлежит, как она включается в общественную жизнь. К примеру, чтобы уяснить характер и строение эмоций человека, нужно представить то многомерное динамическое пространство общественных отношений, в котором он живет, надо, короче, проследить жизнь человека в обществе. С каких позиций личность решает жизненные задачи? В чьих интересах она их решает? Какова социальная направленность ее поведения? Исследуя эмоции, постановки такого рода вопросов не избежать.

Вообще, изучение личности, ее развития можно уподобить богатой оттенками музыкальной теме. Соотношение этих оттенков, их углубление и дальнейшее развитие практически безгранично; не исключается возврат к уже «отзвучавшему» мотиву в новом обрамлении и т. п.

Почти все существующие концепции личности подчеркивают одну важную характеристику личности — направленность как системообразующее качество, определяющее ее психологический склад. В глобальном плане направленность — это отношение получаемого в обществе к вносимому в него. Составные компоненты направленности — мотивационная сфера и цели.

Мотив может не исчерпываться одним видом деятельности. Тогда личность начинает другую деятельность, мотив же сохраняется. Таким образом, связь «мотив — деятельность» — связь подвижная. Мотивационная сфера личности динамична; доминирующие мотивы в ней образуют стержень личности. Каждый период жизни человека приводит к некоторой перестройке мотивационной сферы, дифференциации и интеграции мотивов, подвижному соотношению осознанности и неосознанности.

Оценивая мотивационную сферу личности, важно подчеркнуть, что источник борьбы мотивов не может быть раскрыт без анализа социального контекста.

Не меньший интерес вызывает рассмотрение проблемы способностей. Когда речь идет о способностях, имеется в виду некоторая совокупность психологических свойств индивида, обеспечивающая для него возможную легкость в овладении какого-то рода деятельностью, в достижении определенных результатов. Но существует «социальный заказ» на определенного рода способности. С учетом этого и надо смотреть на роль таких факторов в развитии способностей как подражание, соперничество, сотрудничество. В ракурсе способностей нужно рассматривать социальную деятельность человека, ее общественно-исторический контекст. Практический смысл этой проблемы четко выражен в классической формулировке: от каждого — по способностям, каждому — по труду.

Исследуя законы и условия развития способностей, психологи не могут обойтись без кооперации с естественными науками, а также с педагогикой, социологией, медициной и т. д. В свое время в науке распространенным было представление о способностях как полностью врожденных и неизменных качествах человека. Утверждалось, что никакое обучение, никакое воспитание, в самом широком смысле этих слов, не смогут даже повлиять на развитие способностей. Их развитие рассматривалось как полностью спонтанный процесс, не зависящий от социальных условий.

Как известно, эта позиция оказалась несостоятельной. И тогда бросились в другую крайность: стали утверждать, что можно у любого человека развить любые способности, нужно только правильно ор-

ганизовать работу по его воспитанию. Позднее была предложена следующая концепция: способности формируются и развиваются в процессе социальной деятельности, но они формируются не на пустом месте, а на базе некоторых задатков, т. е. анатомо-физиологических предпосылок, которые могут реализовываться так или иначе в зависимости от конкретных условий жизни человека.

При этом утверждалось, что связь между задатками и способностями неоднозначна. На основе сходных задатков могут формироваться разные способности, и наоборот.

Естественно, возникает вопрос о том, а что же представляют собой эти самые задатки? Какова их структура, динамика их развития? В решении этих вопросов психология неизбежно должна обращаться к биологическим наукам, прежде всего к физиологии и генетике. Следовательно, в изучении способностей психология вынуждена обращаться, с одной стороны, к общественным наукам, поскольку без этого невозможно дать объективный анализ условий жизни человека, а с другой — к естественным наукам, поскольку без этого невозможно понять материальные предпосылки развития способностей. Необходимость такой двусторонней связи возникает в психологических исследованиях довольно часто и даже в более узких проблемах (скажем, в проблеме восприятия, в исследовании движения глаз). В Институте психологии ведутся в этой области работы, которые в конце концов вынудили нас обратиться к исследованию движения глаз на самых ранних стадиях онтогенеза, у новорожденного. У него были выявлены основные типы движения глаз, которые характерны и для взрослого. Возникло предположение о том, что механизмы движения глаз генетически закреплены. Но чтобы проверить это предположение, уже необходима специальная работа с генетиками и специалистами в области физиологии.

Для нас особенно важной является такая фундаментальная проблема, как проблема развития человека.

Центральное место здесь занимают направления исследований, которые можно было бы обозначить так: человеческий организм и личность. Одно из этих понятий, как известно, сформировалось в контексте биологических наук, другое — социальных. Но и то, и другое относится к человеческому индивиду как представителю вида Homo sapiens, члену общества. Личность, как известно, характеризуется прежде всего системой социальных качеств. Как бы детально ни анализировалась анатомия человека, динамика протекающих в его организме физиологических процессов, его свойства как личности остаются неуловимыми на этом пути, так же как, по Марксу, стоимость товара неуловима вне анализа общественных законов. Эти свойства могут быть раскрыты только тогда, когда развитие индивида рассматривается в системе общественных отношений.

Проблема развития человеческого индивида имеет прямое отношение к практическим задачам воспитания. Но, к сожалению, целостной картины индивидуального развития мы пока еще не имеем. В этой области очень часто распространены дуалистические представления о человеке.

Между тем процесс развития индивида — это единый процесс. Понятия «развитие личности», «развитие организма», «психическое развитие» — это ведь научные абстракции, раскрывающие отдельные стороны единого, но вместе с тем многокачественного в своих проявлениях процесса. И здесь роль психологии как интегрирующего начала в комплексе знаний о человеке трудно переоценить.

Корреспондент. Как осуществляется комплексный подход к изучению человека в ведущем психологическом учреждении страны — Институте психологии АН СССР, что в этом направлении достигнуто и какие задачи стоят перед коллективом Института?

Б. Ф. Ломов. Каждый из научных сотрудников Института изучает именно человека — его психические качества и свойства, его самосознание, его взаимодействие с другими и с обществом в целом, его многообразные связи с природным окружением и «второй природой» — созданной посредством рук и ума культурной средой обитания, которая непрестанно и все более интенсивно насыщается новыми элементами.

Институт психологии — комплексное научно-исследовательское учреждение, где проводятся теоретические, экспериментальные и прикладные исследования. Если представить эти исследования в виде здания, то на его верхних этажах разместятся философские и методологические проблемы психологической науки, а также исследования процессов развития человека в системе общественных отношений. Естественно, что здесь психологи работают в союзе с философами и социологами,

историками и юристами, этнографами и экономистами (на стыке экономики и психологии в настоящее время формируется бурно развивающаяся дисциплина — экономическая психология).

Этажом ниже расположено операциональное изучение деятельности человека, а также исследование проблем общения, процессов взаимодействия людей. Здесь психологи входят в непосредственный контакт с представителями многих прикладных наук, и особенно технических и медицинских, они все чаще являются непосредственными участниками процессов подготовки летчиков и диспетчеров, врачей и инженеров.

Следующий этаж — изучение психических процессов, например, восприятия, памяти, мышления (в частности, операционального мышления, творческого мышления). При этом верхние и нижние этажи психологической науки не изолированы друг от друга. Так, в соответствии с результатами наших исследований, мыслительные задачи совместно решаются значительно успешнее, чем каждым участником общения в отдельности. К примеру, в процессе совместного зрительного поиска оказалось, что эффективность решения задачи определяется уровнем согласованности действий партнеров и уровнем развернутости общения (не обязательно вербального). Совместное воспроизведение плана местности или стихотворного текста более полно и точно, чем сумма индивидуальных воспроизведений. Здесь можно сказать, что, надеясь на память другого, человек полнее использует возможности и своей памяти.

Не менее интересно в этом плане изучение феноменов стресса, где, как в «слоеном пироге», обнаруживается связь детерминант социально-психологического, индивидуально-личностного и нейрофизиологического характера.

Наконец, «нижним» этажом в изучении человека является изучение нейрофизиологических основ психических явлений. И здесь общеметодологический принцип системности реализуется в исследовании активности мозга — материальной основы психики.

В деле комплексного изучения человека в Институте психологии АН СССР уже получены результаты, интересные не только для психологов, но и для представителей других наук. Все чаще отвечают наши психологи и на запросы общественной практики, следуя принципу — все для блага человека, человек — цель общественного развития. Что касается перспектив изучения проблем человека, то они практически безграничны, как безграничны возможности основного изучаемого психологией объекта — Homo sapiens.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Ананьев Б. Г. О ПРОБЛЕМАХ СОВРЕМЕННОГО ЧЕЛОВЕКОЗНАНИЯ. М.: Наука, 1977.

Ананьев Б. Г. ЧЕЛОВЕК КАК ПРЕДМЕТ ПОЗНАНИЯ. Л.: Изд-во ЛГУ, 1968.

БИОЛОГИЧЕСКОЕ И СОЦИАЛЬНОЕ В РАЗВИТИИ ЧЕЛОВЕКА. Под ред. Б. Ф. Ломова. М.: Наука, 1977.

Карсаевская Т. В. ПРОГРЕСС ОБЩЕСТВА И ПРОБЛЕМЫ ЦЕЛОСТНОГО СОЦИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОГО ЧЕЛОВЕКА. М.: Медицина, 1978.

Леонтьев А. Н. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ. СОЗНАНИЕ. ЛИЧНОСТЬ. М.: Политиздат, 1975.

Ломов Б. Ф. ЛИЧНОСТЬ В СИСТЕМЕ ОБЩЕСТВЕННЫХ ОТНОШЕНИЙ.— Психологический журнал, 1981, № 1.

Ломов Б. Ф. ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ НАУКА И ОБЩЕСТВЕННАЯ ПРАКТИКА. М.: Знание, 1974.

Николов Л. СТРУКТУРЫ ЧЕЛОВЕЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ. М.: Прогресс, 1984.

Сержантов В. Ф., Гречаный В. В. ЧЕЛОВЕК КАК ПРЕДМЕТ ФИЛОСОФСКОГО И ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ. Л.: Изд-во ЛГУ, 1980.

Фролов И. Т. ПЕРСПЕКТИВЫ ЧЕЛОВЕКА. М.: Политиздат, 1983.

ЧЕЛОВЕК И МИР ЧЕЛОВЕКА. КАТЕГОРИИ «ЧЕЛОВЕК» И «МИР» В СИСТЕМЕ НАУЧНОГО МИРОВОЗЗРЕНИЯ. Киев: Наукова думка, 1977.

Гидротермальный процесс глазами физикохимика

С. Д. Малинин

Сергей Дмитриевич Малинин, доктор химических наук, старший научный сотрудник лаборатории магматогенных процессов Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР. Главная область научных интересов — физическая химия водных растворов как среды образования минералов.

Методы точных наук все в большей мере распространяются на те области знаний, которые традиционно считались описательными, и это способствует все более углубленному пониманию природы тех или иных явлений. Геохи́мия в этом отношении не составляет исключения. Если говорить о рудных процессах, то лишь в результате переложения их характеристик на язык физической химии с ее развитой теорией можно рассчитывать на решение главного вопроса рудогенеза — как образовались рудные месторождения? — и в конечном счете более надежно искать руду.

Тот факт, что процессы рудообразования имеют физико-химическую природу и могут быть поэтому описаны в терминах и понятиях физической химии, был понят только в начале нашего века. Сами же представления об образовании руд из горячих водных растворов имеют куда более давнюю историю. Они восходят еще к средневековью. Так, «отец горного дела» Агрикола (XVI в.) предполага́л, что руды образуются из циркулирующих в глубинах Земли растворов, которые он в духе времени именовал «соками Земли». В трудах М. В. Ломоносова идея о возникновении жильных тел путем осаждения минерального вещества из горячих водных растворов, движущихся по трещинам, выглядит уже вполне на уровне научной концепции.

От проницательности исследователей прошлого не ускользало, что в рудопроявлениях жильного типа много признаков формирования этих рудных тел в соответствии с законами кристаллизации вещества из водных растворов. А поскольку недра Земли традиционно связывались с действием «глубинного жара», по логике следовало, что рудообразующие растворы были горячими. Сегодня мы называем такие рудопроявления жильными гидротермальными.

Долгое время представления о генезисе гидротермальных рудных месторождений носили исключительно качественный характер и ограничивались прежде всего изучением минерального состава рудных жил, последовательности образования минералов, взаимного пространственного расположения рудных жил. Для развития же количественных подходов требовалось многое другое. Нужно было знать свойства воды и водных растворов солей при высоких температурах, закономерности их взаимодействия с веществом минералов (растворимость минералов) и, конечно же, вещественный состав растворов, из которых отлагались минералы.

Наши сведения о составе минералообразующих растворов основываются глав-

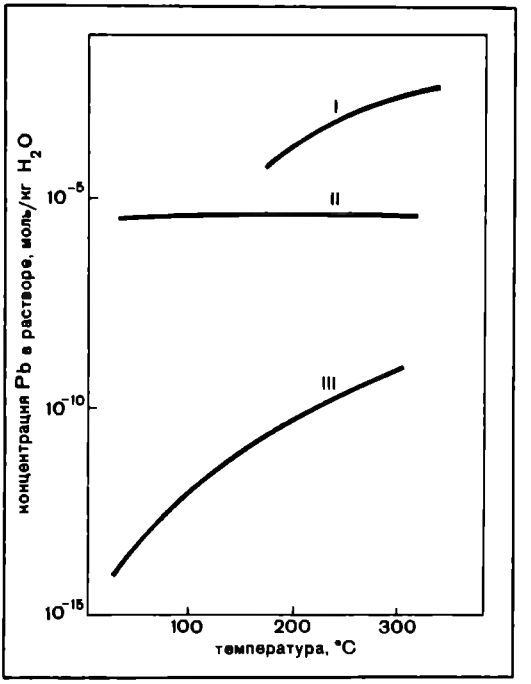
ным образом на данных, получаемых с помощью метода газово-жидких включений. Эти включения в минералах представляют собой разного размера замкнутые полости, образующиеся в процессе роста кристаллов и содержащие захваченные при этом порции «маточного» раствора. Следовательно, включения несут информацию о составе остаточных, уже «отработанных», растворов. Однако и эта информация представляет большую ценность, так как характеризует состав растворов по хорошо растворимым, или «фоновым», компонентам, которые при образовании минералов сами не расходуются (или расходуются в малой степени), но определяют свойства минералообразующей среды. Результаты многих измерений показывают следующий «усредненный» состав включений: катионы — Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, анионы — Cl^-, SO_4^{2-}, HCO_3^-, F^-, при общей минерализации до 1—2 молей солей в литре (50—100 г/л). Причем на первом месте по содержанию находятся Na^+ и Cl^-. Параметры минералообразования — температура и давление, значения которых можно оценить, наблюдая за фазовыми превращениями во включениях при их нагреве и охлаждении — изменяются в широких пределах. Однако для собственно гидротермального процесса максимальная температура условно принимается равной 300—350 °С. Давление при этом колеблется от давления насыщенного водяного пара до нескольких сотен атмосфер.

ЧЕМ ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ РАСТВОРИМОСТЬ МИНЕРАЛОВ?

Вопрос о растворимости минерального вещества в зависимости от температуры, давления и состава водного раствора является ключевым в теории гидротермального образования минералов. В самом деле, в триаде главных проблем рудообразования: источник рудного вещества, формы его переноса в растворе и факторы рудоотложения — две последние прямо связаны с растворимостью минералов как их важнейшей характеристикой.

Надо сказать, что физическая химия водных растворов была разработана лишь для низких, так называемых комнатных температур. Поэтому долгое время она не могла помочь геохимикам в решении проблем гидротермального рудообразования. Ведь поведение водно-солевых систем при высоких температурах во многих случаях принципиально отличается от того, что мы знаем о них при низких. Одним из наиболее ярких, ставших классическими примеров может служить поведение системы кремнезем — вода. Кварц, который для химиков всегда являлся эталоном инертности по отношению к воде и водно-солевым растворам, оказался при температурах выше 300 °С заметно растворимым даже в чистой воде, а особенно — в растворах щелочного или щелочно-карбонатного состава. На этом свойстве кремнезема сегодня основана целая отрасль промышленности — синтез кристаллов кварца.

Оказалось также, что у одних соединений, имеющих при комнатных температурах умеренную или даже низкую растворимость ($NaCl$, $PbCl_2$ и многие другие хлориды), с повышением температуры растворимость неуклонно возрастает, у других же (например, у многих сульфатов)



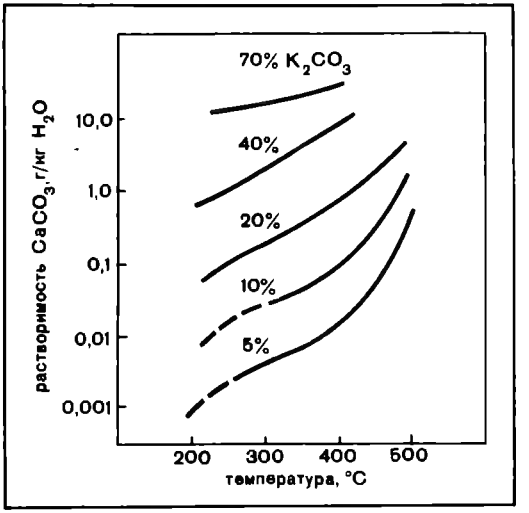
Кривые растворимости галенита (PbS) в водных растворах, содержащих 2 моля NaCl в 1 кг H_2O (I) и 1 моль H_2S в 1 кг H_2O (II), и кривая «теоретической» растворимости PbS в чистой воде (III), рассчитанная по его произведениям растворимости. На примере галенита видно, что образование хлоридных (I) и гидросульфидных (II) комплексов на несколько порядков повышает его растворимость в чистой воде. Таким образом, присутствующие в гидротермальных растворах хлориды и сероводород существенно увеличивают их рудоносность.

она падает до очень малых величин. Накопление данных по водно-солевым системам при высоких температурах и классификация этих систем по типам (работы М. И. Ревича и его школы) во многом способствовало пониманию геохимиками ряда важнейших особенностей природных гидротермальных систем.

Было установлено, например, что минералы гидротермального генезиса обладают относительно малой растворимостью при всех температурах, и особенно при высоких. С одной стороны, высокая растворимость соединения хотя и обеспечивает возможность его переноса, одновременно делает невозможным его выпадение из раствора, а следовательно, и образование соответствующего минерала. Но, с другой стороны, крайне низкая растворимость соединения также может быть препятствием для отложения значительных минеральных масс. Так, в свое время большие трудности в объяснении условий переноса рудного вещества вызывала группа минералов-сульфидов. Величины их произведений растворимости[1] настолько малы, что объяснить образование этих минералов в масштабах месторождений не представлялось возможным.

Эти трудности нашли выражение в парадоксе, отмеченном в 30-х годах известным американским геохимиком Р. М. Гаррелсом: Он подсчитал, что если исходить из известных величин произведений растворимости сульфидов металлов в воде, то для образования рудной жилы всего в несколько тонн через трещину в породе должен был протекать объем раствора, соизмеримый со Средиземным морем. Иными словами, было трудно объяснить, каким образом значительные концентрации металлов и сульфидной серы переносятся в одном и том же растворе на большие расстояния и при этом, несмотря на ничтожную растворимость сульфидов в воде, не происходит их осаждения. Около ста лет назад для объяснения переноса пытались привлечь некие «минерализаторы» и «летучие компоненты», которые якобы сильно повышают растворимость сульфидов и тем самым обеспечивают их перенос, а затем бесследно исчезают. Такой подход дал повод для разного рода произвольных спекуляций.

Выход из создавшейся критической ситуации был найден, когда было высказано предположение о существовании в гидротермальном растворе комплексных химических форм рудных компонентов: хлоридных, гидросульфидных, гидрооксидных, карбонатных и других. Наличие комплексов



Растворимость кальцита ($CaCO_3$) в водных растворах, содержащих K_2CO_3. В подобных системах солей с общим ионом (в данном случае CO_3) при комнатной температуре наблюдается снижение растворимости малорастворимого электролита с ростом концентрации хорошо растворимого. Но при гидротермальных условиях совместное влияние ионной силы и ионной ассоциации на растворимость может быть настолько большим, что действие общего иона оказывается перекрытым. В результате растворимость кальцита не уменьшается, а возрастает с увеличением концентрации щелочных карбонатов. Эти свойства системы позволяют объяснить особенности формирования метасоматических карбонатов, с которыми связаны некоторые виды оруденения.

может существенным образом (иногда на несколько порядков) повысить растворимость минерала. Таким образом, проблема переноса малорастворимого рудного вещества в растворе получила принципиальное решение.

ОБРАЗОВАНИЕ КОМПЛЕКСОВ И ИОННЫЙ ЭФФЕКТ

Привлечение химии комплексных соединений к решению проблем рудообра-

[1] Произведение растворимости (ПР), определяемое как произведение концентраций ионов в насыщенном растворе малорастворимого электролита, при данной температуре постоянно для каждого соединения. Превышение произведения концентраций ионов над величинами ПР приводит к выпадению электролита из раствора, поэтому ПР служит характеристикой растворимости электролита. В неидеальных растворах концентрации должны быть заменены на активности, и соответствующее произведение носит название произведения активности.

зования явилось важнейшим этапом в развитии учения о гидротермальном рудном процессе. Наряду с этим и прикладные исследования, направленные на поиски все новых форм комплексов, возможных в рудных процессах, привели к обогащению классической химии комплексных соединений в области повышенных температур, поскольку сама она в своей основе является низкотемпературной.

Оказалось, например, что прочность большинства комплексов увеличивается с повышением температуры, притом тем сильнее, чем она меньше при обычных условиях[2]. Вместе с тем известна группа комплексов, прочность которых с температурой либо почти не меняется, либо несколько уменьшается. Эти последние имеют при обычных температурах наибольшую прочность. Таким образом, рост температуры как бы нивелирует прочность комплексов. Эта закономерность распространяется и на диссоциацию кислот, оснований и ионных ассоциатов.

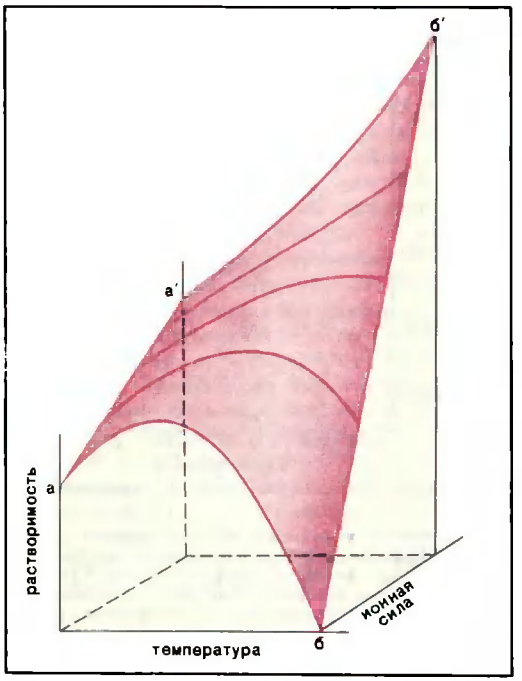


Диаграмма растворимости малорастворимых солей (минералов) в водных растворах электролитов. Растворимость многих малорастворимых солей в воде имеет температурный максимум (сечение а — б). Присутствие электролитов в растворе ведет к увеличению растворимости. Происходит это в результате сложения двух эффектов: ионной силы и образования ассоциатов. Поскольку оба эффекта усиливаются с ростом температуры, возрастание концентрации электролитов приводит к трансформации кривых температурной зависимости растворимости с максимумом (сечение а — б) в монотонно возрастающие кривые (сечение а′ — б′). Таким образом, в концентрированных водно-солевых растворах поведение минерала оказывается принципиально иным, чем в чистой воде и разбавленных растворах, и может существенно повлиять на условия выпадения минерала из раствора.

Сегодня в данной области исследований накоплен большой материал, объем которого продолжает неуклонно возрастать. Некоторое представление об этом дает таблица, которая, однако, далеко не исчерпывает всего перечня комплексов. Хотя не все комбинации катионов и анионов, приведенные в ней, образуют комплексы, в то же время одни и те же пары могут в результате ступенчатой ассоциации давать несколько форм. В общем, не преувеличивая, можно сказать, что число комплексов, рассматриваемых в качестве возможных «кандидатов» на роль переносчиков рудного вещества, сегодня перевалило за сотню, и нет сомнения, что этот перечень будет расти.

Растворимость минералов повышается не только в результате образования комплексов, но и благодаря присутствию в растворах электролитов, создающих так называемый ионный эффект. Он проявляется в том, что с ростом суммарной концентрации электролита (или ионной силы раствора) в результате электростатических взаимодействий между ионами возрастают произведения растворимости малорастворимых соединений, а следовательно, увеличивается их растворимость. Количественная сторона эффекта ионной силы разработана в теории растворов сильных электролитов Дебая—Хюккеля.

Главным выводом теории является выражение для коэффициента активности индивидуального иона как меры отклонения раствора электролита от идеального состояния. Существенно, что в это выражение входят коэффициенты, которые зависят в конечном счете только от физических постоянных (в том числе и от диэлектрической проницаемости растворителя — воды) и поэтому допускают независимую оценку.

Основные положения этой теории были сформулированы еще в 20-х годах

[2] Рыженко Б. Н. Термодинамика равновесий в гидротермальных растворах. М., 1981.

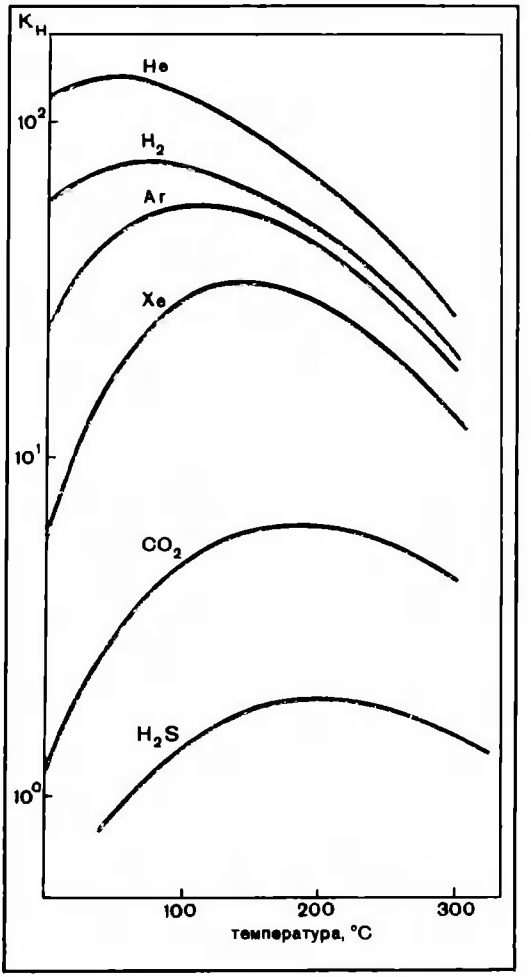
немецкими физикохимиками П. Дебаем и Е. Хюккелем. Теория очень быстро получила признание и вошла в обиход физической химии растворов электролитов, поскольку блестяще подтверждалась экспериментально и вместе с тем не содержала в своем формальном выражении эмпирических и даже полуэмпирических коэффициентов (во всяком случае — в выражении для предельно разбавленных растворов). Однако ее применение долгое время было ограничено комнатными температурами. Распространению выводов теории на область более высоких температур препятствовал недостаток данных по диэлектрической проницаемости воды — существенного параметра, входящего в основное формульное выражение теории. Однако и после появления этих данных в 1950 г. специалисты довольно долго не пытались использовать выводы теории для повышенных температур, хотя в самой модели теории не заложено температурных ограничений. Причина лежала, вероятно, в известной инертности мышления. Только начиная с 1959 г. за рубежом стали предприниматься попытки проверить теорию при повышенных температурах.

Несколько позже в лаборатории магматогенных процессов Института геохимии и аналитической химии АН СССР, руководимой Н. И. Хитаровым, были проведены систематические исследования гидротермальных систем с участием таких жильных минералов, как барит, кальцит и флюорит[3]. В результате всех этих исследований стало ясно, что теория Дебая—Хюккеля не только вполне приложима к области высоких температур, но выполняется там лучше, чем при комнатных температурах. Происходит это вследствие разрыва характерных для воды водородных связей, благодаря чему упрочняется ее структура.

РАСТВОРИМОСТЬ МИНЕРАЛОВ И ИОННЫЕ АССОЦИАТЫ

Применяя аппарат теории Дебая—Хюккеля, можно экспериментальным путем получить значения произведений активности минералов — важнейшей характеристики их растворимости. На базе той же теории появилась возможность исследовать такое типичное для высокотемпературных растворов явление, как образование ионных ассоциатов (ионных пар), существенно повышающих растворимость минералов. При этом вклад ассоциированных форм в величину растворимости резко возрастает с температурой.

Сегодня, когда мы уже располагаем большим опытом использования теории растворов сильных электролитов, можно уверенно говорить об ее универсальном характере. Тем не менее по-прежнему актуальным остается вопрос о распространении теории Дебая—Хюккеля на возможно более широкую область концентраций

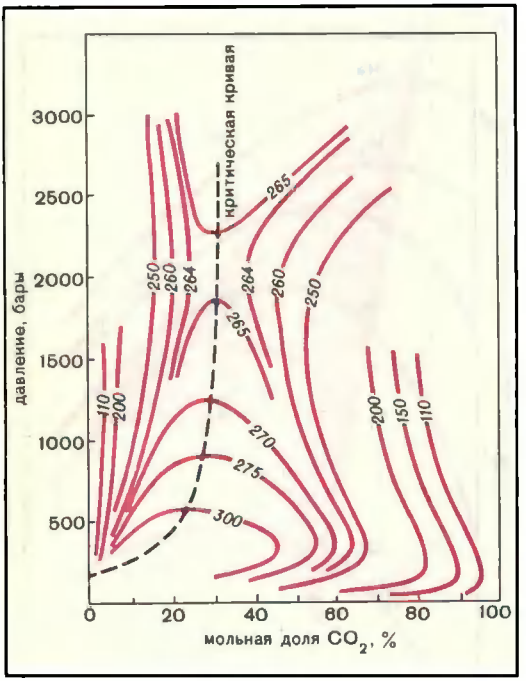


Изменение коэффициента Генри (K_H), выражающего зависимость растворимости газа от его парциального давления, с изменением температуры для растворов разных газов в воде. Как видно, газы существенно (до двух порядков) различаются по величине их растворимости, что может привести к их разделению в условиях гидротермального процесса.

[3] Малинин С. Д., Учамейшвили Н. Е., Хитаров Н. И.— Геохимия, 1969, № 8, с. 927; Малинин С. Д., Куровская И. А.— Там же, 1979, № 11, с. 1630.

растворов электролитов, поскольку исходная модель построена в расчете на сильно разбавленные растворы. Пока улучшение теории достигается путем добавления в ее основное уравнение дополнительных членов. Следует подчеркнуть, что сегодня еще не удается единым уравнением описать свойства высоко концентрированных растворов электролитов, приближающихся по своим характеристикам к расплавам.

Таким образом, благодаря успехам в исследовании свойств водных растворов электролитов при повышенных температурах мы знаем о них несравненно больше, чем два—три десятилетия назад. Это позволяет глубже понять природу солевых растворов как среды образования минералов. Выяснилось, например, что между свойствами водных растворов при низких (комнатных) и высоких (гидротермальных) температурах не существует резких границ. Можно говорить лишь о постепенном изменении свойств по мере возрастания температуры. И вызывается такое изменение разрывом водородных связей между молекулами воды, деструктированием водных растворов и «накоплением» ими свойств неполярных растворов.



Фазовая диаграмма системы H_2O — CO_2 (цифры на кривых — температура в градусах Цельсия). Увеличение взаимной растворимости углекислого газа в воде и воды в углекислом газе с ростом температуры приводит сначала к сближению кривых составов газовой и жидкой фаз, а затем — к их «встрече» в критических точках, образующих кривую критических переходов. На использовании этой диаграммы основана оценка температуры и давления, при которых сформировалось месторождение, методом гомогенизации газово-жидких включений в минералах.

В соответствии с этой тенденцией, как правило, возрастает ассоциация ионов электролитов в растворе, о чем уже упоминалось в связи с комплексами. Признаки ассоциации ионов наблюдаются даже при комнатных температурах. При 300 °С некоторые ионные пары ассоциированы в такой мере, что при расчете ионных равновесий их вклад в растворимость уже нельзя не учитывать. А при температурах выше 500—600 °С в растворах электролитов абсолютно преобладают ассоциированные формы частиц (нейтральные молекулы). Давление, как правило, действует противоположным образом, т. е. увеличивает диссоциацию.

Образование ионных ассоциатов дополняет влияние ионной силы на растворимость минералов. В результате наложения двух эффектов одного знака растворимость минералов возрастает с ростом концентрации электролита. При этом меняется характер температурной зависимости: растворимость из убывающей или проходящей через максимум (что характерно для многих минералов) может стать монотонно возрастающей. В результате в более минерализованных растворах не только складываются лучшие условия для переноса вещества, но и становится возможным отложение минерального вещества за счет снижения температуры. Этот момент особенно важен, поскольку именно снижение температуры рассматривается в теории гидротермального образования минералов как одна из главных причин выпадения минерала из раствора по мере его продвижения от горячего очага к дневной поверхности.

ГАЗОВЫЕ КОМПОНЕНТЫ ПРИРОДНЫХ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Помимо минеральных компонентов рудообразующие растворы содержат, как правило, газы. Ведущее положение среди них по количеству и по химической активности занимает углекислота (CO_2). От ее режима зависит перенос и отложение важнейших жильных минералов — карбонатов.

Ионы-комплексообразователи — вероятные агенты переноса рудного вещества

Катионы	Анионы
Pb^{2+}, Zn^{2+}, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Cu^{+}, Cu^{2+}, Ni^{2+}, Co^{2+}, Cd^{2+}, Hg^{+}, Au^{+}, Ag^{+}, UO_2^{2+}, Sn^{2+}, **редкие земли и др.**	HS^{-}, S^{2-}, $S_2O_3^{2-}$, SO_3^{2-}, SO_4^{2-}, Cl^{-}, F^{-}, **органические вещества (гуминовые кислоты и др.)**, OH^{-}, SCH^{-}, PO_4^{3-}, WO_4^{2-}, MoO_4^{2-}, CO_3^{2-} **и др.**

В основе действия углекислоты на карбонаты лежит реакция

$$CaCO_3+H_2O+CO_2=Ca^{2+}+2HCO_3^{-},$$

управляющая переходом карбонатов из твердого состояния в растворенное и обратно. Содержание углекислоты во включениях бывает столь значительно, что она способна конденсироваться в них, образуя самостоятельную жидкую фазу.

Среди других газов следует выделить сероводород, который, несмотря на малые содержания, играет главную роль в образовании рудных минералов сульфидного состава. Водород, метан и другие углеводороды определяют окислительно-восстановительные условия и, следовательно, валентное состояние рудных элементов, а при высоких содержаниях могут влиять и на фазовое состояние гидротермальных систем.

Современные знания о системах газ — жидкость основаны как на исследованиях общетеоретического характера (работы И. Р. Кричевского и его школы), так и на результатах изучения водных систем со многими газами.

Растворимость газов в воде подчиняется закону, отражающему пропорциональную зависимость концентрации газа от его парциального давления — закону Генри: $K_H=P/X$, где K_H —коэффициент Генри, P — парциальное давление газа, X — концентрация газа в растворе. Закон Генри выполняется только при малых концентрациях (парциальных давлениях) газа. Для высоких концентраций предложены более сложные уравнения[4].

Кривая зависимости растворимости газов от температуры характеризуется наличием минимумов. Так, из каждодневной практики хорошо известно, что растворимость газов в воде с повышением температуры уменьшается. Это положение верно, однако, только для относительно низких температур — в интервале от 0 до 100 °С. При более высоких температурах растворимость, пройдя через минимум (положение которого на шкале температур зависит от природы газа), возрастает настолько, что достигается полная взаимная смесимость компонентов. При низких парциальных давлениях газа она наступает вблизи критической температуры воды. Здесь мы еще раз убеждаемся, что свойства систем, известные для ограниченной области низких температур, подчас не могут быть перенесены на высокотемпературные условия даже в самом грубом приближении.

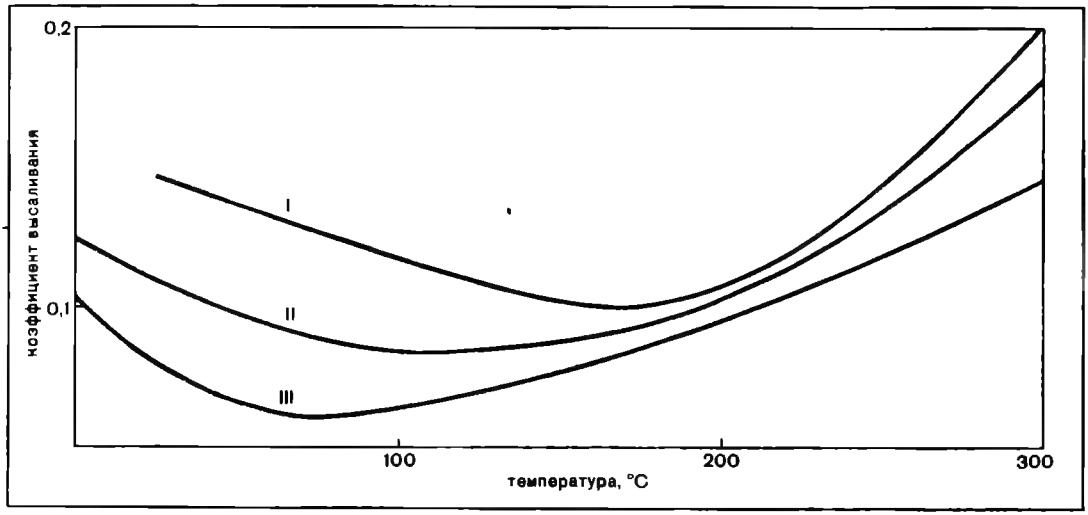
В широкой области давлений и температур газы и вода образуют систему с взаимной растворимостью компонентов и критическими переходами. Напомним, что критические переходы в газово-жидких системах совершаются в результате повышения температуры. При этом вещество переходит из двухфазового (гетерогенного) в однофазовое (гомогенное) состояние путем исчезновения границы раздела фаз. Для однокомпонентных систем — «чистой» жидкости в равновесии с собственным паром — критический переход характеризуется особой точкой, которая однозначно определяется критическими температурой ($T_{кр}$), давлением ($P_{кр}$) и плотностью ($\varrho_{кр}$). Для воды, например, эти параметры имеют следующие значения: $T_{кр}=374$ °С, $P_{кр}=225$ кг/см^2, $\varrho_{кр}=0{,}33$ г/см^3. В двухкомпонентных системах величины критических параметров зависят еще и от состава, поэтому критические переходы геометрически описываются кривой.

Таким образом, закономерности фазовых отношений в системах, образованных водой и газами, при высоких параметрах достаточно сложны. Но без знания этих закономерностей невозможно реконструировать условия образования минералов. И прежде всего невозможно правильно оценить температуру и давление с помощью широко применяемого сейчас метода газово-жидких включений. Иными словами, невозможно оценить эти параметры по результатам наблюдения над

[4] Кричевский И. Р., Ильинская А. А.— Ж. физ. химии, 1945, т. 19, с. 621.

фазовыми превращениями, происходящими во включениях в процессе нагревания и охлаждения образцов. Из перечисленных выше систем особенно важной для этих целей оказывается система, образованная водой и углекислотой. Сегодня диаграмма этой системы является опорной в методе газово-жидких включений.

Сложная сама по себе картина фазовых отношений в газово-водных системах усложняется еще более из-за присутствия в природных гидротермах солевых компонентов.



Зависимость коэффициента высаливания газов от температуры: для углекислого газа в растворах NaCl (I) и $CaCl_2$ (II) и для метана в растворе NaCl (III). Коэффициент высаливания является сравнительной характеристикой растворимости газа в водном растворе электролита под влиянием изменения концентрации этого электролита. Форма кривых указывает на изменение с ростом температуры самого характера зависимости: при температурах выше 50—100 °С уменьшение высаливающего действия сменяется его возрастанием. При высоких температурах даже относительно небольшое содержание солей в гидротермальных растворах («минерализация гидротерм») должно способствовать их разделению на жидкую и газовую фазы.

Из физической химии водных растворов известно, что присутствие в водном растворе солей (электролитов) приводит к уменьшению растворения газов (неэлектролитов). Это явление носит название высаливания. Поэтому присутствие в природных гидротермальных растворах солей должно быть учтено при оценке растворимости в них газов. Количественно высаливание описывается уравнением Сеченова $\lg S_0/S = K_s m_s$, в котором S и S_0 — растворимости газа в растворе соли и чистой воде, соответственно, m_s — концентрация электролита, K_s — константа Сеченова. Долгое время на основании низкотемпературных исследований высаливания считалось, что воздействие электролитов на растворенные газы непрерывно уменьшается с ростом температуры. Эта же закономерность предсказывалась и многочисленными теориями. Однако, как показывают эксперименты по высокотемпературному высаливанию (правда, пока еще немногочисленные), при температурах выше 100 °С высаливание усиливается с увеличением температуры. Это означает, что одни и те же добавки соли к воде, насыщенной газом, при высоких температурах «сильнее» вытесняют газ из раствора, чем при низких. Этим, между прочим, объясняется наблюдаемый в газово-жидких включениях «антагонизм» CO_2 и NaCl, который выражается в существовании обратной корреляционной связи между их содержаниями в растворах, входящих в состав газово-жидких включений в минералах.

РАСЧЕТНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Цель физико-химического исследования растворов состоит в определении величин термодинамических характеристик[5] в

[5] Речь идет о произведении растворимости (активности) малорастворимых в воде солей, константах реакций в растворах, свободной энергии, энтропии, энтальпии и других термодинамических характеристиках.

возможно более широком интервале температур и давлений. Эти характеристики необходимы для расчета равновесных концентраций компонентов растворов и получения на этой основе картин переноса и отложения минерального рудного вещества.

Но экспериментальные исследования при высоких температурах и давлениях достаточно сложны и трудоемки. И еще больше они усложняются при работе с водными растворами солей и газов, поскольку при высоких температурах такие растворы становятся химически агрессивными по отношению к материалам — сталям и сплавам, из которых изготовляются сосуды высокого давления. Поэтому важным направлением в развитии термодинамики солевых растворов стала разработка методов экстраполяции значений термодинамических характеристик растворов из области низких температур на высокие. И хотя любая экстраполяция сопряжена с определенной долей риска и нуждается, по крайней мере, в выборочной экспериментальной проверке результатов, использование экстраполяционных методов оправданно. Особенно если в их основе лежат надежные теоретические предпосылки, а не случайные эмпирические корреляции.

Экстраполяция по температуре основана на том экспериментально установленном факте, что многие довольно разнородные величины (например, константы диссоциации слабых кислот и оснований, произведения активности, устойчивости комплексов) с изменением температуры ведут себя сходным образом, проходя через экстремумы. Указанный характер зависимости описывается уравнениями типа $\lg K_T = -A/T + C - DT$, в котором K_T — константа, T — температура по абсолютной шкале, A, C и D — коэффициенты. Следовательно, имеется возможность определить эмпирические коэффициенты уравнения, располагая лишь немногими экспериментальными точками, а затем использовать это уравнение в качестве экстраполяционного.

Другой путь экстраполяции основан на существовании термодинамических соотношений, связывающих изменение теплоемкости системы при протекании в ней процесса (в частности, химической реакции) с константой равновесия соответствующего процесса. Поэтому задача получения экстраполяционного уравнения сводится к отысканию способов независимой оценки теплоемкости ионов. Оба указанные пути экстраполяции были использованы в разное время Г. Хелгесоном, Р. П. Рафальским, И. Л. Ходаковским.

Экстраполяция констант реакций на области разных давлений основана на том, что зависимость величин констант от давления определяется объемным эффектом реакции. Однако соответствующие параметры — объемы электролитов в растворе для широкого интервала изменения температур и давлений — далеко не всегда могут быть определены. Поэтому важным достижением стала разработка Б. Н. Рыженко электростатической теории диссоциации, основанной на существовании простой связи между константами диссоциации веществ в водных растворах и диэлектрической проницаемостью растворителя (воды) при разных температурах и давлениях[6]. Найденная зависимость позволяет достаточно надежно экстраполировать константы диссоциации на давления до десятков килобар для широкого интервала изменения температур.

Итак, благодаря успехам в создании общей теории водных растворов и разработке прикладных ее областей (в практике промышленного синтеза кристаллов, в экспериментальной геохимии), теория гидротермального процесса располагает сегодня внушительной физико-химической базой. И сегодня на повестке дня стоит разработка на этой базе моделей равновесий химических реакций, по возможности более адекватно описывающих природные гидротермальные процессы. Кроме того, нельзя ограничиваться исключительно термодинамической стороной гидротермального процесса, основанной на предположении о равновесном его характере. Необходимо учитывать кинетику процесса (скорость протекания химических реакций), его динамику (тепло- и массоперенос). Только полные модели, объединяющие все указанные подходы, воссоздадут картину процесса рудообразования, помогут выявить новые поисковые признаки оруденения.

---

[6] См. сноску 2.

Одомашнивание животных продолжается

А. Н. Сегаль
кандидат биологических наук
Зоологический институт АН СССР
Ленинград

Понятия «доместикация» (одомашнивание) и «домашнее животное» являются предметом давней дискуссии, однако до сих пор однозначного общепринятого определения не выработалось, а это порождает противоречия при оценке статуса того или иного обитающего в неволе животного. Мне же представляется убедительным считать животное домашним по трем критериям: если в ряде поколений оно живет и успешно размножается в неволе; если приобрело существенные и необратимые отличия от своей исходной, обитающей в природе дикой формы; если играет роль в жизни человека, удовлетворяя какие-либо материальные или эстетические потребности.

Такая позиция в определении домашнего животного отражает смысл доместикации как умения разводить в неволе диких животных, пользоваться ими для своих нужд и изменять их применительно к своим практическим целям. Эта же позиция позволяет избежать столь частого смешения доместикации с приручением.

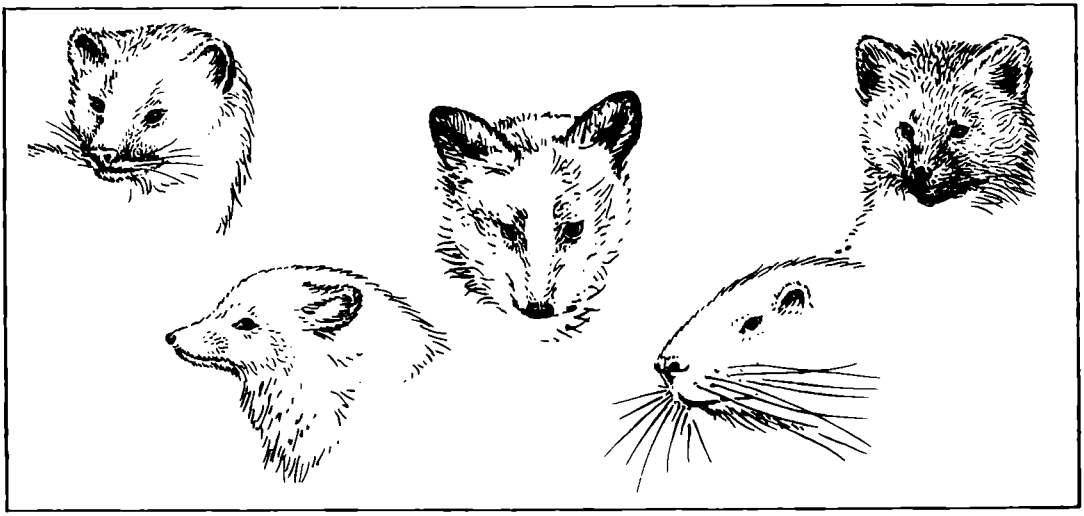
Домашние животные, используемые в хозяйстве человека, принадлежат к очень ограниченному числу видов, преимущественно млекопитающих. Почти все они были одомашнены в незапамятные времена на заре современной цивилизации, 10—20 тысячелетий назад. За истекшее с тех пор время число видов домашних животных увеличилось очень мало, но тем не менее одомашнивание положило начало животноводству. Появились формы, помогающие человеку осваивать труднодоступные и неудобные для жизни ландшафты: верблюды — в пустынях, яки и ламы — в горах, северный олень — в тундре. Одомашнены некоторые животные для удовлетворения хозяйственных потребностей: для получения меда — медоносная пчела, шелковой нити — тутовый шелкопряд; золотую рыбку стали разводить ради ее красоты, канарей — за их прекрасное пение. Почти все основные потребности людей в продуктах питания, сырье для изготовления одежды и сухопутном транспорте обеспечивались за все время одомашнивания не за счет расширения набора видов животных, а благодаря селекции и выведению новых пород из уже имеющихся одомашненных видов.

Постепенное уничтожение лесов, увеличение народонаселения привели к тому, что охота, несмотря на совершенствование охотничьего оружия и способов промысла, оказалась не в состоянии удовлетворить потребности человека в пушнине. Уже в конце прошлого века возникла настоятельная необходимость найти новый ее источник. Таким источником и стало клеточное звероводство.

Были начаты опыты по разведению в неволе самых различных пушных зверей, но лишь немногие оказались пригодными для этой цели. Только в ходе длительной и трудоемкой работы удалось выявить виды, которые могли благополучно существовать и размножаться в неволе, они-то и стали основой для современного звероводства. Как же идет процесс одомашнивания пушных зверей, какие факторы и как влияют на него?

Переход дикого животного от вольного образа жизни в природе к клеточному содержанию означает, прежде всего, смену среды обитания. Мало того, что коренным образом изменяются условия существования, происходящие перемены совершаются резким скачком и являются для животного сильнейшим стрессом. Многочисленные неудачи, сопровождавшие звероводство на первых порах, несомненно, отражают неспособность многих попавших в неволю зверей благополучно пережить этот стресс. Создавая искусственную среду обитания, человек всегда стремился повторить или хотя бы имитировать главные элементы естественной среды: гнездовой домик предназначался для замены норы, дупла или другого природного убежища; сетчатая клетка-вольера — это одновременно и охотничья тропа, и прогулочная площадка, и территория брачных игр. Однако понадобилось приложить много усилий, чтобы приспособить зверей к жизни в столь ограниченном пространстве.

В природе жизнь животных подвержена действию как абиотических факторов (климата, ландшафта), так и биотических (совокупность влияний, оказываемых жизнедеятельностью других живых существ). Новая среда обитания, создаваемая для животных на звероферме, коренным образом отличается от природной и теми, и другими факторами, причем изменение абиотических факторов для зверей явно неблагоприятно. Особенно отрицательно сказывается влияние микроклимата, ведь именно с ним тесно связаны поведенческие реакции зверя, от него зависит само его существование. В клетке животное не может перебраться в более прохладное, обвеваемое ветром место, если ему слишком жарко; при похолодании оно не может утеплить свое гнездо, так как не хватает подстилки; или просто перестроить это гнездо в соответствии со своими биологическими потребностями. Особенно трудно приходится норкам и нутриям: при отсутствии бассейна в клетке эти полуводные звери не могут пользоваться обычным для них способом терморегуля-



Пушные звери, которых разводят в клетках (слева направо): норка, песец, лисица, нутрия, соболь.

ции. В результате животные часто оказываются совершенно беспомощными и беззащитными перед неблагоприятной погодой, их система терморегуляции чрезвычайно напряжена и может не справиться с перегревом или переохлаждением организма. Нередко это заканчивается массовой гибелью зверей.

Клеточное звероводство практикуется во многих климатических зонах, не имеющих ничего общего с естественным видовым ареалом зверей. Попав в районы, расположенные за тысячи километров от родных мест, в новую, чуждую обстановку, они вынуждены жить в условиях, коренным образом отличных от тех, в которых проходило естественное развитие вида. Например, песца, распространение которого в природе ограничено Заполярьем и тундровой зоной, разводят гораздо южнее его природного ареала — в районах с резкоконтинентальным климатом. Естественно, что летом он страдает на зверофермах от жары и сухости воздуха, против которых у него нет эффективных защитных механизмов. Американская норка — обитатель пойменных биоценозов умеренного климатического пояса — в неблагоприятных условиях к тому же укрывающаяся в норах, особенно чувствительна к климату. Разводят же ее во всех уголках Советского Союза — от Крайнего Севера до Средней Азии. Безусловно, на севере норка страдает долгие зимние месяцы от морозов, а на юге мучается от летней жары.

Новая среда обитания отличается от природных условий и тем, что в ней отсутствует целый комплекс биотических факторов. У живущего в клетке зверя нет врагов и конкурентов, а значит нет и надобности в агрессивно-оборонительном поведении; здесь животному не приходится отыскивать и добывать пищу, а потому исчезает охотничье поведение; упрощены отношения с половым партнером, которого не приходится выбирать; наконец, нет и многих паразитов, так обременяющих жизнь зверей в дикой природе. Все это делает искусственную среду обитания более спокойной и благоприятной по сравнению с естественной.

При клеточном образе жизни резко меняется и кормовой рацион. Вместо живой свежей добычи хищники вынуждены питаться специально приготовленными кормовыми смесями (мешанкой). Такой корм и по составу, и по консистенции мало похож на естественную пищу животного. Мясо и рыба, из которых делаются кормовые смеси, обычно долго хранятся и теряют свои ценные качества, к тому же в рационе содержится, как правило, избыток углеводов.

Важнейшим и совершенно новым элементом внешней среды в неволе становится человек. Между ним и животным складывается целая система контактных отношений, которых не бывает в природе. От человека же зависит и само существование животного.

При клеточном разведении животное не освобождается от власти естественного отбора. Идет он по пути приспособления животного к специфическим условиям искусственной среды обитания. Особенно сильным было влияние естественного отбора в ранний период развития пушного звероводства. Существенное значение на первых этапах клеточного разведения имело малое жизненное пространство и близость человека, т. е. те факторы, с которыми дикие животные никогда не встречались за всю историю развития вида.

В популяциях всегда встречаются особи, неспособные спокойно вести себя в клетке, отказывающиеся от пищи, спаривания, выкармливания детенышей. Малоприспособленными оказывались особи с консервативным поведением, жесткими,

недостаточно пластичными физиологическими процессами. Именно такие животные, будучи нежизнеспособными, вымирали в неволе, а в процессе одомашнивания принимали участие только те, которых мало беспокоило как ограниченное жизненное пространство, так и присутствие человека. Результат такого отбора сейчас очевиден: современная популяция клеточных зверей характеризуется довольно лояльным отношением к человеку, хотя среди соболей и песцов нередко попадаются особи, проявляющие повышенную агрессивность к человеку.

В искусственной среде обитания осуществляется также естественный отбор по отношению к климатическим факторам абиотического комплекса. А поскольку влияние этих факторов вследствие относительной беззащитности животного в клетке сильнее чем в природе, то значение отбора по признаку приспособленности организма к температурным и прочим воздействиям внешней среды резко возрастает. Животные, разводимые в разных климатических условиях, должны поэтому обладать различными адаптивными особенностями, выражающимися в их морфологии, физиологии и поведении. Такие особенности хорошо заметны на американской норке. Животные в хозяйствах Карелии и Магаданской области, где лето характеризуется низкой температурой и высокой влажностью, по своим терморегуляторным реакциям одинаковы, но резко отличаются от животных, разводимых на Кубани, где лето жаркое и сухое. Этой же причиной, вероятно, объясняется разница в величине и пропорциях внутренних органов норок из разных хозяйств СССР.

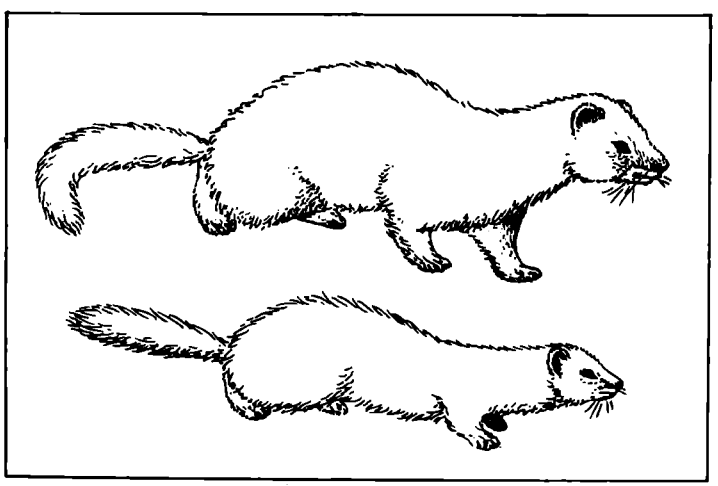
По-видимому, различие в адаптивных способностях животных из разных климатических зон является причиной повышенной заболеваемости и высокой смертности среди животных, перевезенных с разных звероферм для «обновления крови».

Естественный отбор идет также и по степени приспособленности зверей к необычному пищевому рациону. В процессе адаптации неизбежно вымирают особи, плохо усваивающие новый для них набор кормов, неспособные к воспроизводству и существованию на таком рационе.

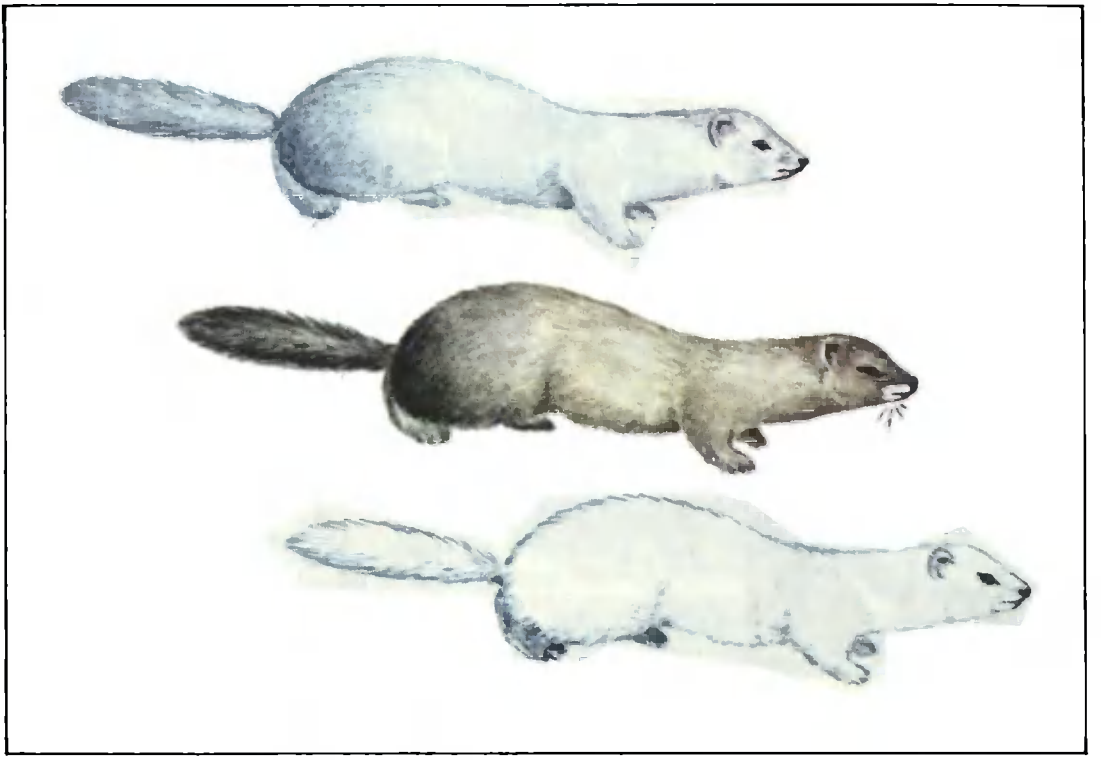
Специфические условия клеточного образа жизни наложили отпечаток на некоторые морфологические признаки. У американской норки, например, стали меньше индексы (относительные размеры) сердца, легких, почек, кишечника, сократились показатели легкие, сердце, кишечник/печень. Происшедшие изменения носят явно адаптивный характер, отражая уменьшение происходящих в организме метаболических превращений.

В обстановке клеточного разведения искусственный отбор выступает в роли мощного фактора преобразования природы животного. Искусственный отбор дополняет, а нередко усиливает и даже перекрывает действие естественного отбора. Следует, однако, заметить, что направления искусственного отбора, применяемого к клеточным пушным зверям, ограниченны и своеобразны: это главным образом селекция по качеству меха в соответствии с потребностями рынка сбыта и модой. Направляя искусственный отбор по этому пути, селекционеры и генетики создали много вариантов структуры и окраски волосяного покрова, вывели несколько сот цветовых форм американской норки, несколько десятков разновидностей серебристо-черной лисицы, голубого песца, нутрии. Поскольку с генами, ответственными за окраску и структуру меха, сцеплены гены, обеспечивающие другие признаки организма, многие мутантные цветовые формы существенно отличаются от своей родоначальной формы. К сожалению, некоторые ценные по качеству меха звери имеют неблагоприятные отклонения в морфологии, физиологии и поведении. Например, белая норка хедлунд плохо слышит и в силу этого, или по какой-то другой причине, плохо заботится о потомстве; алеутские и сапфировые норки обладают пониженной жизнеспособностью и сопротивляемостью к инфекциям, а потому подвержены различным заболеваниям; многие цветовые разновидности неспособны к нормальному воспроизводству и т. д.

Селекционеры и генетики ведут также искусственный отбор на увеличение размеров зверей и их плодовитости. Современная клеточная норка в 2—3 раза превосходит по массе свою исходную дикую форму, более крупными стали в неволе и другие пушные звери. Возросла плодовитость животных: поголовье норки и лисицы увеличивается за год в 4—5 раз, песца — 7—8 раз, нутрии — 10 раз.



Американская норка — клеточная форма (в в е р х у) и дикая.



Цветные норки (сверху вниз): сапфир, топаз, хедлунд.

Часто искусственный отбор по своему направлению совпадает с естественным, дополняя и усиливая его действие. Так, естественная гибель беспокойных и агрессивных к человеку особей дополняется сознательной выбраковкой животных по этому признаку. Точно так же выбраковывают слабых, больных,бесплодных зверей, отбирая животных на племя. Значит, при клеточном разведении животные подвергаются действию как естественного, так и искусственного отбора, которое, имея одинаковое направление, ускоряет процесс доместикационных преобразований.

В некоторых случаях преобразования клеточных животных столь значительны, что современную клеточную форму (например, норку) разделяют на породы и породные группы. А поскольку воздействие модифицирующих внешних факторов и отбора происходит на фоне кардинально изменившихся условий существования, оно ведет к дестабилизации организма. Наблюдаемые при этом доместикационные изменения поведения, морфологии и физиологии, резко возрастающая индивидуальная изменчивость являются конкретным выражением дестабилизации и, в свою очередь, служат материалом для отбора и формирования новой жизненной формы. Ключевыми, решающими и в то же время первичными, по-видимому, следует считать изменения поведения, вслед за которыми меняются физиологические и морфологические признаки.

Итак, уже несколько десятков поколений некоторых видов пушных млекопитающих живут и успешно размножаются в неволе. Огромное и неуклонно растущее число этих животных свидетельствует, что это не временное и преходящее явление, а закономерность, связанная с развитием производительных сил и материальной культуры современного человечества. Все живущие в клетках звери вовлечены в круг хозяйственной деятельности и экономики человека, давая пушнину в количестве, удовлетворяющем 30 % потребности общества. В результате естественного и искусственного отбора клеточные животные приобрели ряд специфических особенностей поведения, морфологии и физиологии, которые существенно отличают их от исходной дикой формы и носят типично доместикационный характер. В ряде случаев приобретенные в неволе признаки настолько своеобразны, что делают невозможным существование таких животных в природе. Следовательно, в настоящее время идет доместикация новых видов млекопитающих. Живущие в клетках серебристо-черная лисица, голубой песец, соболь, нутрия находятся на разных стадиях одомашнивания. По статусу ближе всех к домашнему животному находится американская норка.

Карст в мерзлых грунтах

Ю. П. Пармузин

Юрий Павлович Пармузин, кандидат географических наук, специалист в области ландшафтоведения, физико-географического районирования, озероведения. Автор многих работ по этим вопросам, в том числе книг: Средняя Сибирь. М., 1964; Северо-Восток и Камчатка. М., 1974; Тундролесье СССР. М., 1979.

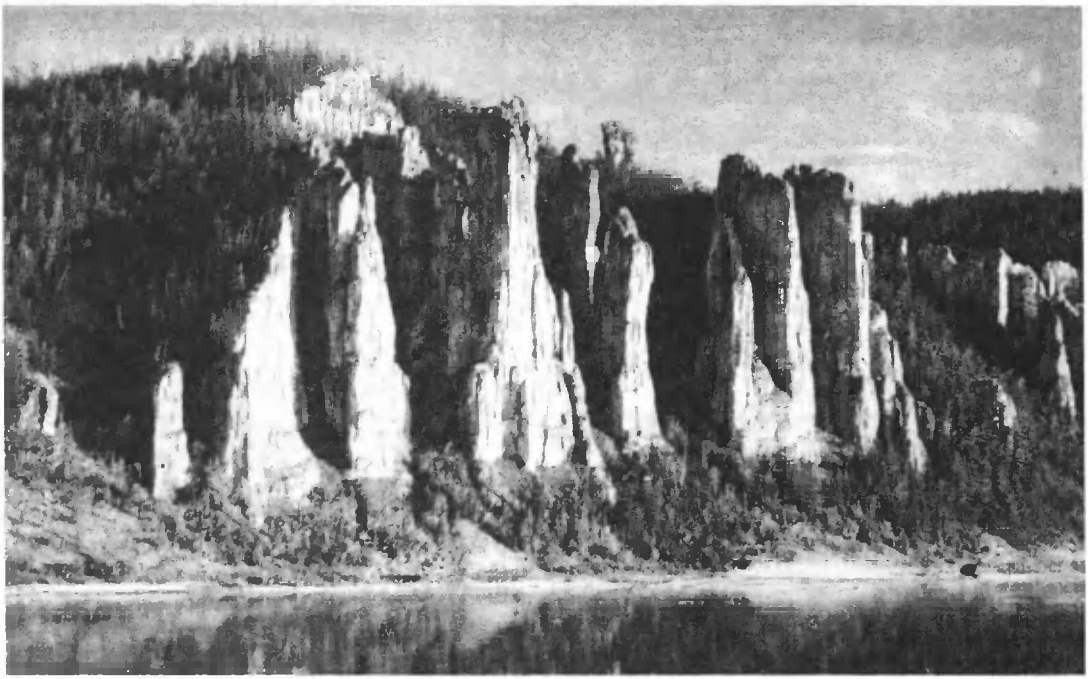
Возникающие при растворении горных пород специфические формы рельефа: пещеры и пустоты, воронки и провальные колодцы, а также исчезающие и внезапно появляющиеся водотоки — именуют карстом по названию плато в Югославии, где такие формы были изучены наиболее полно. Когда процесс растворения идет очень интенсивно, карст называют злостным. Подавляющему большинству инженерных сооружений карст всегда приносит немало зла. Поэтому изучение карста и распространения растворимых горных пород — одна из важных задач при инженерно-геологических изысканиях под строительство.

Растворимые горные породы занимают на Земле большие площади. Это, во-первых, карбонатные породы: известняки, доломиты и сопутствующие им доломитизированные известняки, известняковые конгломераты и брекчии, а также мел, в некоторых случаях мергель и мрамор; во-вторых, сульфатные: гипс, ангидрит; в-третьих, различные соли, и особенно каменная поваренная, в меньшей степени — калийная, калийно-магниевая, мирабилит и др. Карстуются все эти породы при наличии трещин и пор, по которым могут циркулировать воды атмосферных осадков или фильтрующиеся из водотоков.

Сравнительно недавно считали, что карста не должно быть в грунтах, скованных вечной мерзлотой, поскольку циркуляция воды по трещинам там исключена. Однако произведенные нами в середине 50-х годов геологические и геоморфологические съемки на севере нашей страны показали, что и мерзлые грунты сильно поражены карстом. Тем не менее мерзлотный карст еще долго оставался «в тени», пока в этих суровых краях не стало развертываться крупное строительство, требующее устойчивых грунтов. Первое серьезное предупреждение карст сделал гидростроителям, заставив отказаться от возведения нескольких гидроэлектростанций на Ангаре между Байкалом и Братском[1]. Оказалось, что кембрийские известняки с прослоями гипса и соли здесь буквально изъедены пустотами. Пришлось, минуя их, создать только две плотины — в Иркутске на юрских песчаниках и в Братске — на кристаллических траппах.

Условия образования карста в зоне многолетнемерзлых грунтов, где также имеются все виды растворимых горных пород, существенно отличаются от обыч-

[1] Вологодский Г. П. Карст южного Приангарья.— В кн.: Павлов О. В., Вологодский Г. П., Лещиков Ф. Н. Инженерно-геологические особенности Приангарского промышленного района и их значение для строительства. М., 1965.



Ленские столбы в карстующихся кембрийских известняках.

ных. Так, для развития карста здесь, казалось бы, недостаточно атмосферных осадков. Ведь в классических карстовых районах, например в Югославии, на Кавказе и в других южных районах, их выпадает более 1000 мм в год, а в зоне вечной мерзлоты — от 100 до 500 мм (не считая горных территорий). Малое количество атмосферных осадков сочетается с преимущественно поверхностным стоком по водоупорному горизонту мерзлоты, и вода не оказывает непосредственного действия на растворение подстилающих пород.

С другой стороны, мерзлота имеет свойство концентрировать влагу. Холодный горизонт понижает температуру воды, препятствуя ее испарению. Кроме того, в мерзлых грунтах огромную роль играет конденсационная влага, содержащаяся не только в каждом углублении, но и в порах, и пустотах внутри грунтов. Вместе с водой конденсируется активно растворяющаяся в ней углекислота и, несмотря на малое ее содержание в воздухе по сравнению с южными районами, она делает воду крайне агрессивной по отношению к карбонатам.

Выветривание в зоне многолетнемерзлых пород идет с большой интенсивностью. Но в отличие от южных территорий здесь оно не приводит к образованию глин, замазывающих трещины и пустоты и замедляющих образование карста. В накапливающейся крупнообломочной, щебенчатой и песчано-алевритовой коре выветривания фильтрация воды идет значительно легче. Это при определенных условиях может способствовать образованию карста.

Растворимые горные породы в зоне многолетнемерзлых грунтов в основном распространены в тектонически подвижных районах. Это — Тиманский кряж, Урал, Среднесибирское плоскогорье, Алдано-Патомское нагорье, Верхояно-Колымские горы. Кроме большого числа тектонических трещин, здесь много трещин мерзлотных. В течение теплого периода года в трещины затекает вода. Зимой она образует ледяные клинья, сильно деформирующие грунты, что летом способствует проникновению воды вглубь. Для всех этих районов характерны и так называемые отседания склонов. Сначала поперек склона возникает длинная трещина. Заполняясь водой, она расширяется и достигает значительных глубин, откалывая большие блоки со склонов. Таким образом, по трещинам, имеющим разное происхождение, циркулирует значительное количество воды.

Схема распространения карста в многолетнемерзлых грунтах.

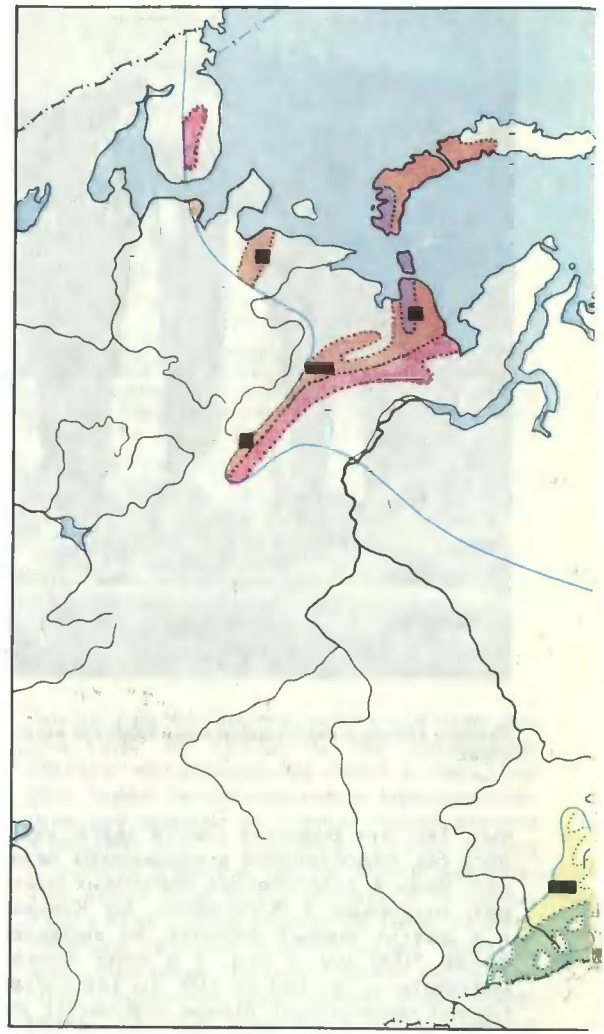
Карстующиеся горные породы:

- пермские и более древние соленосно-гипсоносно-карбонатные
- силурийско-девонские карбонатные
- ордовикские, силурийско-девонские карбонатно-гипсовые
- кембрийские карбонаты с гипсом и солью
- кембрийские карбонаты
- докембрийские мраморы и кристаллические известняки

Наиболее распространенные типы карста:

- карбонатный
- соляной
- ископаемый
- карбонатно-гипсовый
- кальцитовый

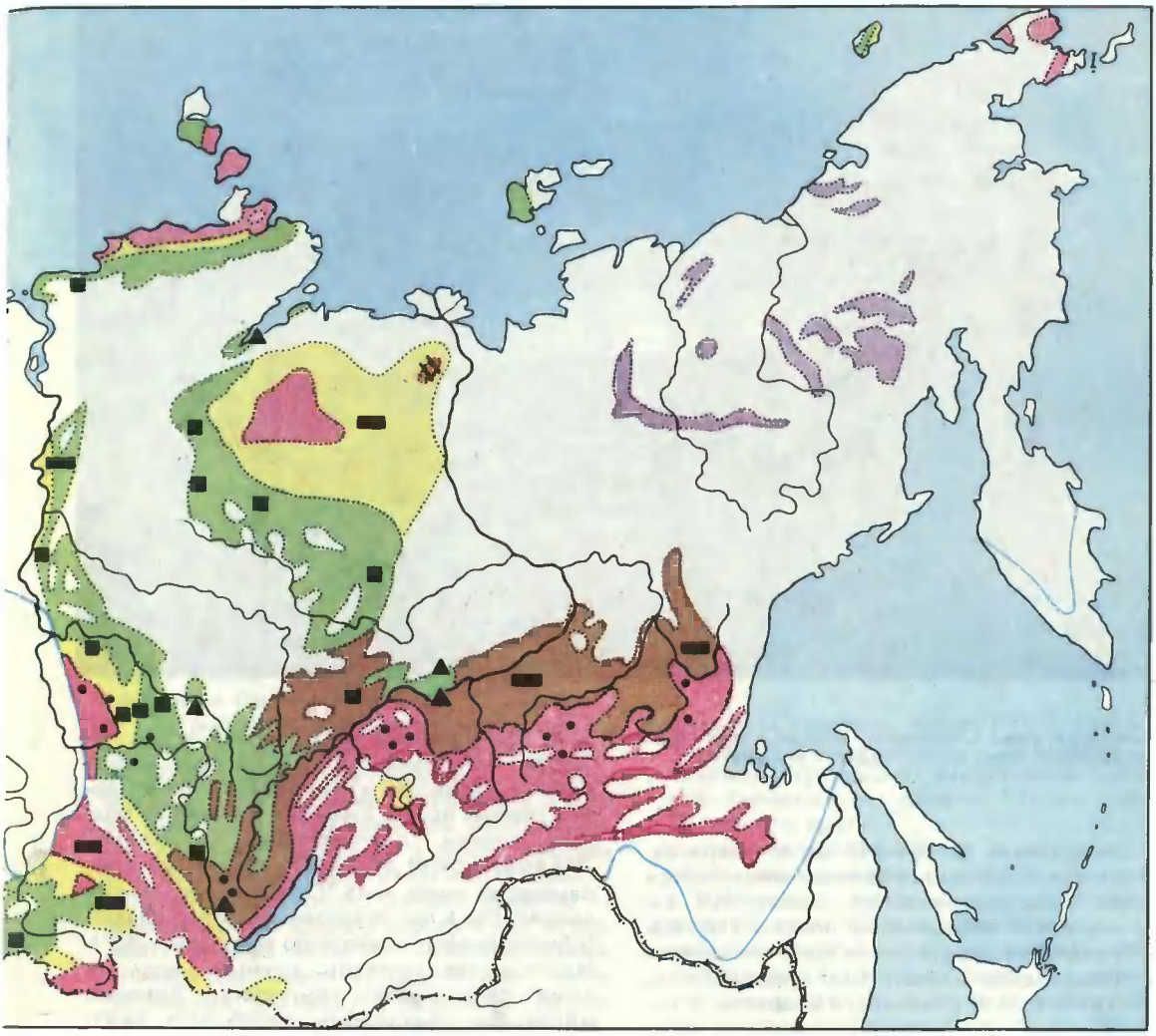
Граница многолетнемерзлых грунтов



Но может ли мерзлотный карст соперничать с карстом южных районов, если вода действует в мерзлых грунтах всего 2—4 месяца в году? Так или иначе, но даже в мерзлых грунтах встречается злостный карст. В этом убедил нас случай, происшедший в 1968 г.

Экспедиционные гидросамолеты Путоранской экспедиции Лимнологического института СО АН СССР приводнились на небольшом заполярном озере Сиркюарвит. Одним концом озеро примыкает к обрыву базальтового плато Путорана, а другим выходит на карбонатное Котуйское плато. В зоне избыточной влажности тундролесья, где мы находились, бессточных озер быть не должно, а из этого озера поверхностного стока не было. Правда, были видны следы того места, где из озера раньше вытекала вода — осушенная долина лежит на 14 м выше уровня озера. То, что Сиркюарвит — озеро карстовое, мы догадались сразу по его берегу, изъеденному каррами, бороздами и характерными конусами. Условившись с летчиками, что они заберут нас через неделю, мы обосновались на совершенно сухом берегу, что тоже удивляло, так как кругом расстилалась влажная кочкарная тундра.

На следующий день плато Путорана



покрылось облаками и начались дожди. Они с небольшими перерывами длились 20 дней, и авиация не могла к нам прорваться. Хотя ручьи стекали в озеро со всех сторон, его уровень не поднимался, а наоборот ежесуточно понижался на 5—8 см. Промерив глубины озера, мы обнаружили среди его незначительных глубин в 1,5—2,5 м глубокую (до 20 м) узкую впадину, параллельную обрыву путоранского плато. Когда уровень озера понизился на 1 м, обнаружилось несколько отверстий — понор, в которые с шумом засасывалась вода. А в 2 км от озера по направлению трещины были обнаружены семь бьющих из мерзлой толщи источников. Прибрежные валуны покрылись белой корочкой осажденной извести. Таким образом, можно было с уверенностью полагать, что под озером и вокруг него шли интенсивные карстовые процессы. Между тем вокруг озера нигде не было ни одного места, где бы мерзлые грунты оттаивали больше чем на 50 см за лето. Общая же мощность мерзлых пород в этом месте оценивается в 400 м.

За двадцать дней вынужденного пребывания на Сиркюарвите мы обнаружили еще несколько округлых озер, из которых вытекали бурные речки. Но они пропадали

Карстовое озеро Сиркюэрвит. Хорошо видны следы сокращения озера за счет падения его уровня.

в известняках в 50—250 м от берегов. С самолета отлично прослеживалась полоса таких озер шириной не менее 100 км вдоль восточного склона плато Путорана. Образование карста здесь идет интенсивно в гипсоносных известняках ордовикского, силурийского и девонского возраста. В голоцене оно существенно усилилось в связи с возобновившимся подъемом плато Путорана. Об этом свидетельствуют долины с алевритовыми террасовыми отложениями прежде вытекавших из озер речек.

Для понимания карстовых процессов в мерзлых растворимых породах следует еще раз обратить внимание на свойства самой воды, изучению которых посвящены многочисленные работы мерзлотоведов в 70-х годах.

Еще в 1890 г. Г. Я. Близнин высказал показавшуюся тогда фантастической мысль о существовании в горных породах тонких водных пленок[2]. Полвека спустя изучением действия пленочной, или связанной, воды занялся мерзлотовед И. А. Тютюнов, установивший, что во всех капиллярных трещинах и микроскопических порах горных пород имеются тончайшие водные пленки, смачивающие их стенки[3]. Эта вода может замерзать только при температурах ниже —45 °С, а в особо тонких капиллярах и при значительно более низкой (обнаруживают пленочную воду при —60°). Многолетняя мерзлота грунтов нигде не имеет столь низких температур, которые могли бы заморозить пленочную воду.

Особенно быстро перемещается пленочная вода при колебаниях температур грунта в пределах от 0 до —5°, которые происходят десятки раз в год в верхнем горизонте мерзлых пород. Постоянно находясь в движении, пленочная вода в мерзлых породах «сострогивает» тончайшие слои, растворяя их, и постепенно расширяет пустоты в растворимых породах[4].

[2] Близнин Г. Я. Влажность почвы по наблюдениям Елисаветоградской метеорологической станции 1887—1889 гг. СПб, 1890.

[3] Тютюнов И. А. Физико-химическое изменение горных пород на Крайнем Севере.— В сб.: Физико-химические процессы в промерзающих мерзлых породах. М., 1961.

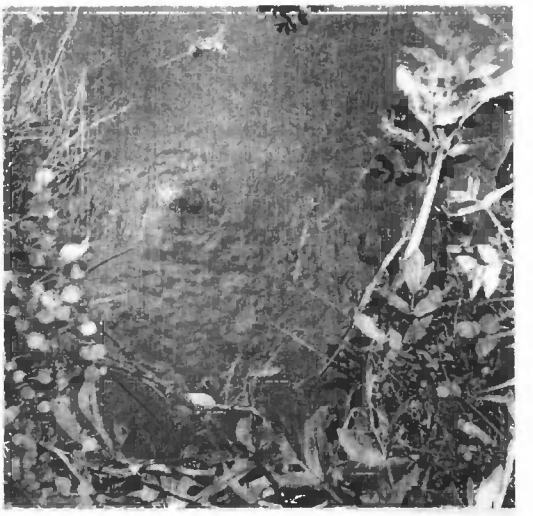
[4] Ананян А. А. Природа воды в тонкодисперсных горных породах и особенности ее кристаллизации.— В сб.: II Международная конференция по мерзлотоведению. Якутск, 1973, вып. 4; Достовалов Б. Н. Структуры, фазовые переходы и свойства свободной и связанной воды.— Там же.

Если в мерзлых грунтах происходит быстрая потеря влажности из-за оттока пленочной воды, на ее место проникают конденсационные пары. А конденсационная влага, содержащая углекислоту, действует еще интенсивнее на расширение пустот, превращая их из микроскопических в доступные для миграции свободной воды. Таким образом, скорость образования карста мерзлых растворимых пород едва ли меньше, чем в породах непромерзающих.

Следует иметь в виду, что в мерзлых грунтах карст замаскирован верхней мерзлой покрышкой рыхлых наносов. Весьма типичен здесь карст закрытый — глубинный. Его развитию способствуют резкие колебания уровня подземных вод, характерные для территорий с многолетней мерзлотой. В теплый период года все здешние реки резко повышают свой уровень, в то время как зимой вода иногда скрывается в донных отложениях. В результате придолинные толщи растворимых пород находятся в зоне интенсивной циркуляции свободной воды. Поэтому именно около долин чаще всего обнаруживают карстовые формы рельефа.

В многолетнемерзлых грунтах известны все формы карста. Карстуются все растворимые горные породы от докембрийского до неогенового возраста. Правда, нет бесспорных сведений о современных карстовых процессах в докембрийских кристаллических известняках и мраморах — они слишком плотны. Однако древние — ископаемые — формы карста в них встречаются весьма часто. На Тиманском кряже, Анабарском массиве, Алданском щите, Патомском нагорье, Енисейском кряже, в Саянах докембрийские карстовые формы заполнены более молодыми отложениями, в которых часто сосредоточены многочисленные полезные ископаемые, так как при растворении карбонатные породы способствуют химическому осаждению металлоносных растворов, концентрации бокситов, огнеупорных глин, фосфоритов.

Широко развит современный карст в кембрийских известняках Среднесибирского плоскогорья. Обширное поле выходов известняков и доломитизированных известняков окружает докембрийский Анабарский массив, образуя восточную часть Котуйского и все Оленекское плато. Здесь известны карстовые воронки, часто занятые озерами, провалы, а в крутых берегах Оленька и его притоков — ниши. Еще больше карстовых воронок, неглубоких пещер — ниш, исчезающих рек, в том числе



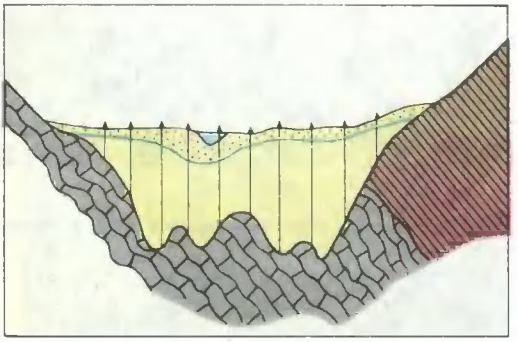
Вода втягивается в понор трещины на дне озера Сиркюврвит.

довольно крупных, вроде Сухой Тунгуски, в среднекембрийских доломитах по крыльям Туруханской антиклинали, вытянутой параллельно долине Енисея южнее Полярного круга.

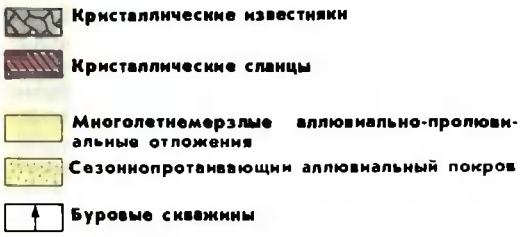
Интенсивнее развит и лучше изучен карст кембрийской карбонатной толщи с прослоями гипса и соли, простирающейся южнее 62-й параллели между Енисейским кряжем и горными сооружениями Верхоянского нагорья. Здесь, на склонах и в днище долин, в цоколях речных террас, в рвах отседания склонов, в меньшей степени — на широких плоских междуречьях развиты все виды карстовых форм: воронки, блюдца, полья, суходолы, провалы, ниши, щели в обрывах коренных пород, пещеры, а также глубокие (иногда более 100 м) озера, исчезающие и внезапно появляющиеся реки. Пока немногочисленные глубокие скважины в мерзлых грунтах фиксируют обширные пустоты в известняках на глубине 200 м и более. Очевидно, что при дальнейшем освоении этих территорий не следует обольщаться видимой непоколебимостью мерзлой поверхности грунтов.

Там, где в карбонатные толщи включены прослои гипса и солей, карст становится злостным и в мерзлых грунтах. Образование карста существенно тормозит не только гидростроительство, но и сель-

ское хозяйство и даже судоходство. Например, такая мощная река, как Алдан, летом становится несудоходной в среднем течении из-за поглощения ее вод карстовыми пустотами, изобилующими в этом районе. Многие километры пастбищ и сенокосов, испещренные воронками и суходолами, лишены каких бы то ни было источников воды, что существенно тормозит развитие животноводства. Карст стимулирует разрушение почвенного покрова во-



Разрез погребенной карстовой воронки в кристаллических протерозойских известняках в одной из долин Патомского нагорья. Диаметр воронки — около 300 м, глубина — 50 м.



круг воронок и сильно ухудшает урожаи сельскохозяйственных культур. Вообще карстующиеся горные породы отличаются сухостью. Там, где они развиты, обычно нет болот, а грунтовые дороги доступны в любое ненастье.

Карстовое происхождение имеют знаменитые Ленские столбы, украшающие правый берег Лены в ее среднем течении (в 150 км выше Якутска). В бассейнах среднего течения Лены, Амги и большой части Алдана часто встречаются карстовые источники, не замерзающие зимой даже при самых свирепых морозах. На Лено-Вилюйском междуречье вокруг Кемпендяйских соляных структур расположено несколько сотен соляных озер.

Соляной карст имеется в среднем течении Катанги (Подкаменная Тунгуска), в бассейне Ангары, в приустьевой части Олекмы, а также близ Хатангского залива в Заполярье.

Немаловажное практическое значение имеют погребенные карстовые полости в кембрийской карбонатной толще. Так, вдоль восточного склона Енисейского кряжа широкой полосой протянулись многочисленные воронки, заполненные глинистыми бокситами, которые начинают эксплуатировать. В бассейне верхнего течения Ангары в аналогичных воронках сосредоточены огнеупорные глины, каолины.

Почти по всей нашей стране распространены многочисленные выходы карстующихся ордовикских, силурийских, девонских и частично карбоновых отложений. Карстовые формы в них особенно широко развиты между Енисеем и трапповым плато средней части Тунгусской синеклизы от Заполярья до бассейна Ангары. Вся эта двухтысячекилометровая полоса насыщена карстовыми воронками, щелями, провалами, исчезающими водотоками, озерами, а по долинам — нишами, гротами, навесами и т. п.

Относительно мало растворимых горных пород на обширной площади Верхояно-Колымской страны. Они встречаются небольшими участками в бассейнах Индигирки и Колымы и совсем маленькими — на Чукотке. Карст в этих районах специально не изучался. Однако отмечено наличие воронок, многочисленных карстовых источников.

Если в многолетнемерзлых грунтах Азиатской части СССР самыми молодыми из карстующихся считаются нижнекаменноугольные отложения, то в Европейской части отложение соленосных и гипсоносных слоев продолжалось в течение пермского периода. В мерзлых грунтах карст здесь развит на Тимане, между Белым морем и Уралом.

Гигантский равноногий рак

О. Г. Кусакин,
доктор биологических наук
Институт биологии моря ДВНЦ АН СССР
Владивосток

Отряд равноногих раков (Isopoda) насчитывает более 4 тыс. видов, распространенных буквально везде: в морях (от приливно-отливной полосы до самых больших глубин), в континентальных водоемах (от горных ручьев до крупных озер) и на суше (от тропических лесов до пустынь). Наиболее известные равноногие раки — морской таракан, водяной ослик и мокрица — мелкие животные, обычная их длина 3—20 мм. Но есть среди этих раков и один великан: это гигантский батиномус (Bathynomus giganteus). Самый крупный экземпляр его (360 мм длиной и 1400 г массой) был пойман несколько лет назад участниками экспедиции Тихоокеанского океанологического института ДВНЦ АН СССР в Южно-Китайском море вблизи Филиппинских о-вов на глубине около 900 м. Гигантский батиномус оказался самым крупным не только среди равноногих раков, но даже во всем надотряде перакарид (Peracarida), включающем, кроме равноногих, еще 5 отрядов.

Интересно, что этот гигант относится к самому примитивному в отряде семейству Cirolanida и к самому примитивному роду (Bathynomus) этого семейства и, следовательно, всего отряда. Икринки гигантского батиномуса тоже гигантские — до 11 мм в диаметре. Столь крупных яиц нет ни у кого из ракообразных и вообще у членистоногих.

В строении и биологии

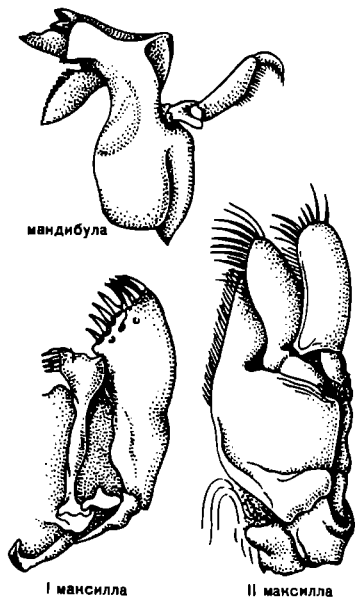
Гигантский равноногий рак из Южно-Китайского моря (вверху — вид спереди, внизу — вид сбоку).

гигантского батиномуса немало весьма примечательных особенностей. Крайне своеобразны органы дыхания батиномуса. Все равноногие раки дышат поверхностью уплощенных двуветвистых плавательных ножек (плеоподов), которые, таким образом, служат одновременно органами и дыхания и плавания. С этим, кстати, связана уникальная для ракообразных особенность отряда равноногих: сердце у них лежит не в грудном отделе тела, как обычно, а в брюшном, т. е. ближе к органам дыхания. Но у батиномуса, кроме плеоподов, имеются особые разветвленные выросты у основания брюшных ножек, служащие вспомогательными органами дыхания.

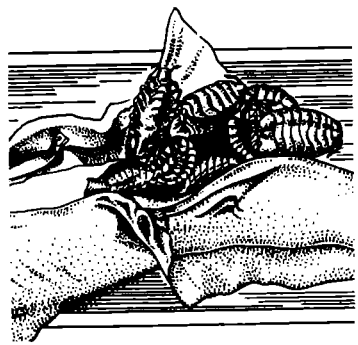
Питание гигантского батиномуса плохо изучено; считается, что он поедает падаль. Но возможно, он питается, как и его меньший по размерам ближайший родственник — японский батиномус (B. doederleini), живой, но неподвижной рыбой: у тихоокеанского побережья Центральной Японии этого батиномуса не раз и в большом количестве находили в ловушках для лова рыб и ракообразных, куда батиномусы заползали, привлеченные наживкой. Их же считают ответственными за повреждения рыб, попавшихся в сети, выставленные на глубинах более 200 м. Х. Секигути с коллегами исследовал несколько глубоководных пряморотых акул, вытащенных из сетей уже мертвыми, и внутри одной из них обнаружили 12 батиномусов, которые буквально прогрызли рыбу насквозь.

Ареал гигантского батиномуса — тропическая западная Атлантика от Мексиканского залива, Южной Флориды и Багамских о-вов до устья Амазонки и северная часть Индийского океана (Аравийское море, Бенгальский залив). Судя же по нашей находке, его ареал распространяется и на западную часть Тихого океана до Филиппинских о-вов. Разорванные ареалы особенно характерны для древних реликтовых форм, когда-то обитавших на более обширных пространствах. Именно тропическая область Индийского океана и западная часть Тихого

Брюшная ножка гигантского батиномуса с дополнительными дыхательными отростками. (По А. Мильн-Эдварсу, 1902.)



Челюсти гигантского батиномуса. (По А. Мильн-Эдварсу, 1902.)



Вскрытая брюшная полость глубоководной пряморотой акулы Dalatias licha. **Видны несколько батиномусов. (По** H. Sekiguchi, **1981.)**

чрезвычайно богаты древними, архаичными формами, такими как мечехвосты, наутилус или недавно обнаруженный у Филиппинских о-вов десятиногий рак неоглифея — настоящее живое ископаемое.

Интересно, что гигантский батиномус обитает на тех же глубинах материкового склона (310—2140 м), где встречаются и многие архаичные группы животных. Там их, пожалуй, даже больше, нежели на материковом шельфе и больших глубинах. Считается, что обитателями довольно глубоких вод являются последние представители животных, которые некогда — в мезозое или даже в палеозое — процветали на шельфе, но были вытеснены оттуда более молодыми и прогрессивными животными и смогли уцелеть лишь на средних глубинах. Глубже 2 км им проникнуть не удалось, и современная фауна больших глубин (если не вся, то, по крайней мере, равноногих раков) состоит из наиболее специализированных, филогенетически молодых видов.

В настоящее время род Bathynomus насчитывает 6 видов. В ископаемом состоянии этот род найден только в отложениях среднего миоцена Японии, но Р. Имаидзуми предполагает, что к этому же роду относятся Palaega carteri из меловых отложений Англии и P. guadelupiensis из верхнего мела Техаса. Если это действительно так, то батиномусов следует считать еще более древними животными, ареал которых был значительно шире, чем сейчас. Вероятно, в те отдаленные времена виды этого рода обитали на меньших глубинах по сравнению с современными.

Сочетание у батиномуса гигантизма и черт крайней примитивности представляется нам не случайным. Изучение филогении равноногих раков показывает, что их размеры, так же как и многих других групп беспозвоночных, в ходе эволюции в основном уменьшались. Возможно, главная причина уменьшения размеров — усиливающаяся конкуренция со стороны позвоночных, имеющих перед беспозвоночными неоспоримое преимущество — внутренний скелет.

Экологическое мышление и Байкал

Х. Х. Трасс,
член-корреспондент АН ЭССР
Тартуский государственный университет

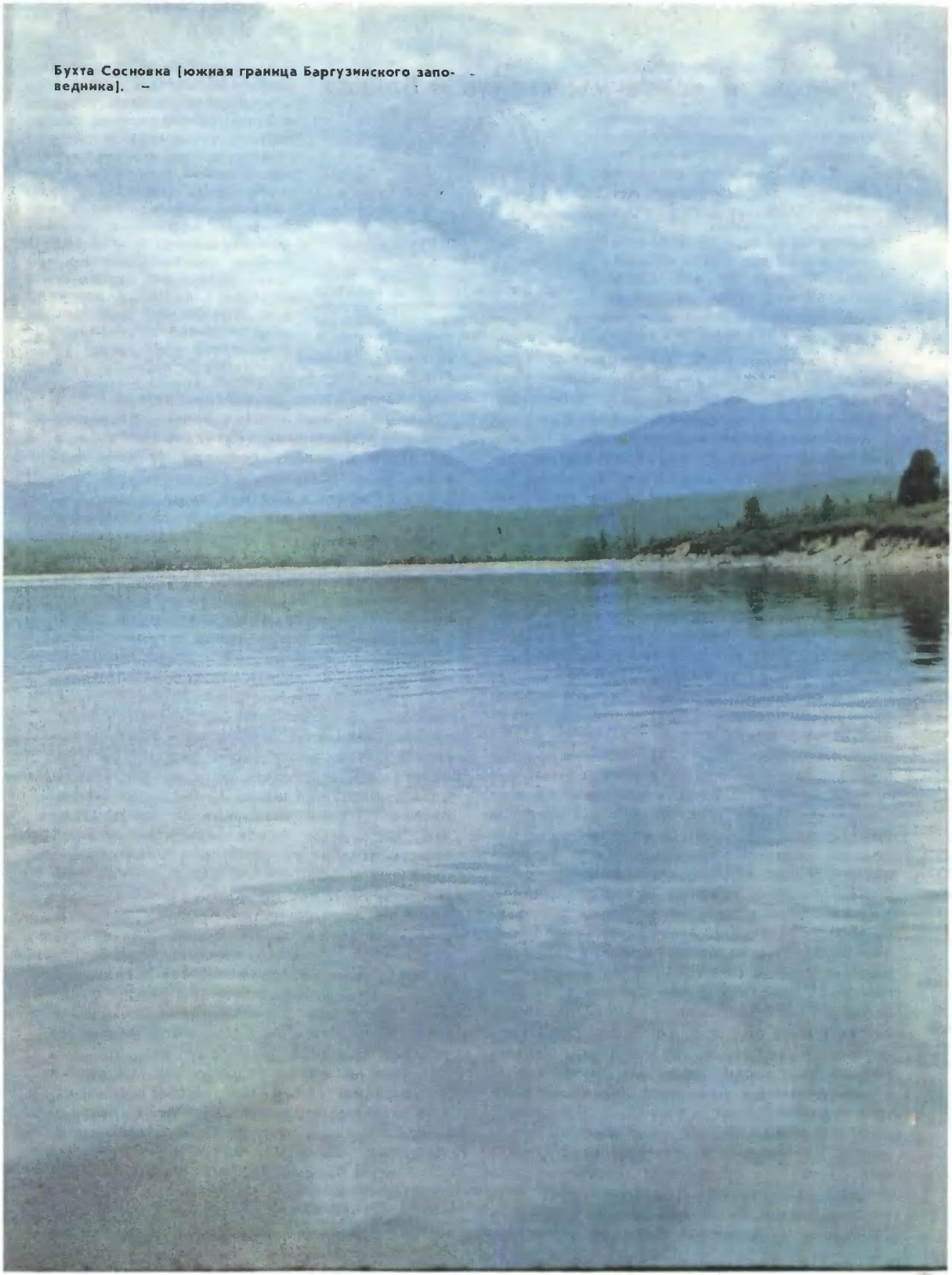
Общеизвестные современные процессы в биосфере — повреждение или уничтожение естественных экосистем, уменьшение как восстанавливаемых, так и невосстанавливаемых природных ресурсов, урбанизация и индустриализация, загрязнение атмосферы, воды и почвы — заставляют ученых всего мира обращать все больше внимания на проблемы антропогенной динамики экосистем. К изучению этих вопросов привлечены ученые самых разных специальностей — химики, физики, биологи, экологи, медики, географы, экономисты и др. Можно надеяться, что совместными усилиями удастся выяснить общие закономерности динамики всех основных типов экосистем Земли, разработать общую стратегию и тактику охраны природной среды и ресурсов, привлечь достаточно средств для постройки дорогостоящих очистных сооружений, организации новых особо охраняемых территорий и акваторий и т. д. Для достижения этих целей работают многие международные организации, созываются конференции, издаются журналы и книги. Но все же, при всем размахе и значении международной и общегосударственной природоохранной деятельности, главными остаются конкретные исследования: изучение отдельных экосистем, регистрация влияния определенных очагов загрязнения на всю биоту, изучение действия основных типов загрязнителей на организмы и их сообщества, определение вреда от конкретного загрязнителя и расходов на его устранение, разработка новых очистных сооружений с наблюдением над эффективностью их действия.

При обсуждении столь важной проблемы, как охрана биосферы, необходимо учитывать, что существует несколько различных концептуальных трактовок, или, проще говоря, типов мышления. Я приведу примеры, касающиеся взглядов на охрану природы Сибири, в частности Байкала, Прибайкалья, Забайкалья.

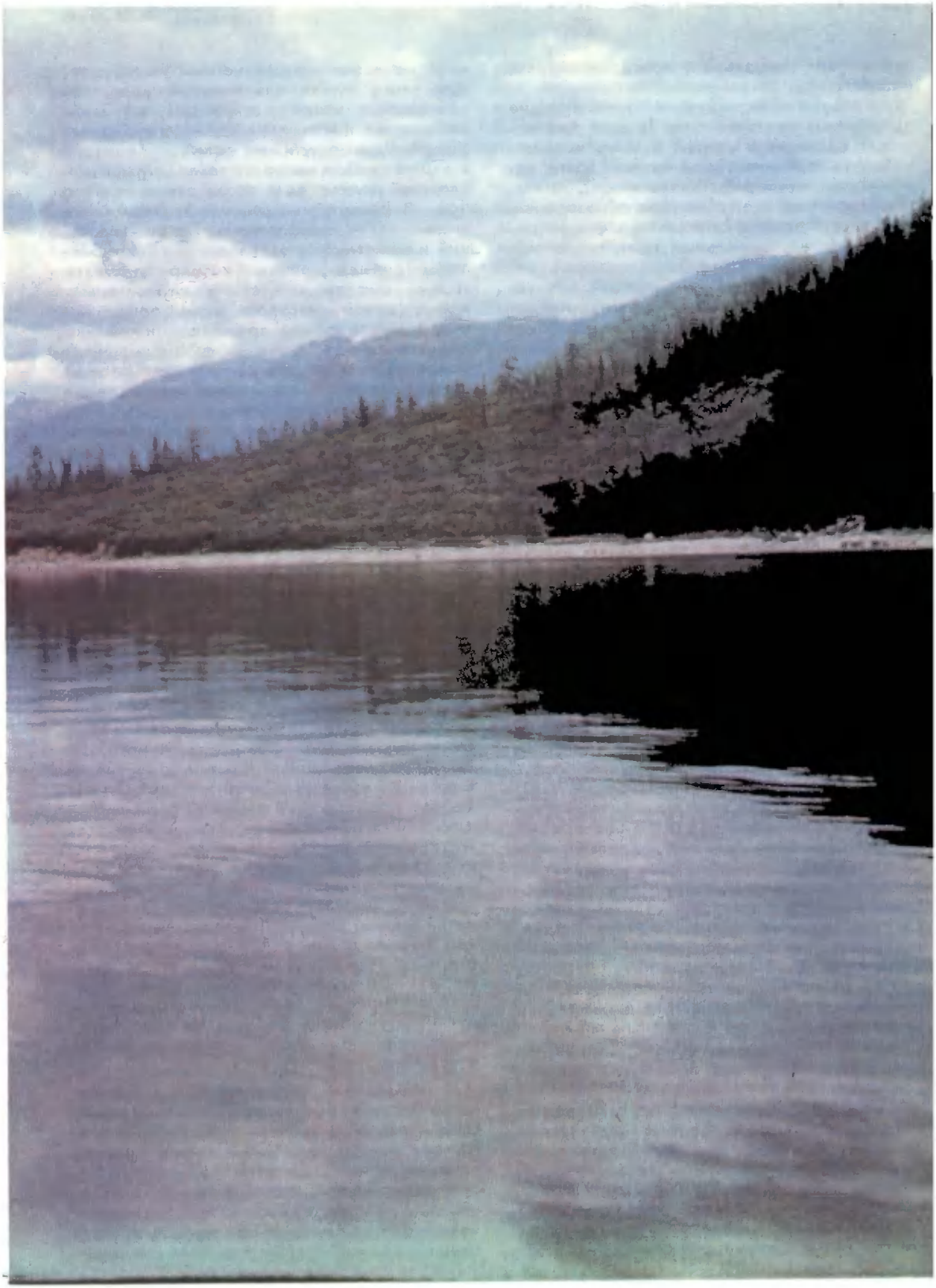
Есть группа людей (назовем их наивистами), которые против всякой развернутой индустриальной деятельности там, где от этого страдает природа. И если они правильно указывают на ранимость экосистем Сибири и Байкала, на распространение в виде цепной реакции всех антропогенных влияний в окрестностях индустриальных центров, на уникальность многих ландшафтов и экосистем Сибири, то общественные и государственные нужды они понимают наивно и абсолютно не верят в возможность ограничения антропогенных влияний, в технический и организационный потенциал охраны природы и среды.

Второй тип мышления проявляется, наоборот, в абсолютизации экономических, хозяйственных потребностей и в игнорировании вреда, наносимого человеком природе (это, так сказать, вульгарный практицизм). Рассуждения о Сибири примерно таковы: страна огромная и богатая, ну что же, если здесь или там вокруг нового комбината (фабрики, электростанции) что-то испортится, какой-нибудь цветок исчезнет, лес погибнет. Главное — мы получим электричество, уголь, стройматериалы, а лесов, лугов, болот, гор и озер останется в Сибири вдоволь для бобра и лося, для кабана и человека. Правда, в последнее время подобные рассуждения уже не столь прямолинейны, нередко чистый утилитаризм скрывается под некоторыми стандартными лозунгами, но суть от этого не меняется. Этот тип мышления легко узнать, когда речь заходит о конкретных мероприятиях по охране природы и среды и об их судьбе в будущем, скажем, лет через 10—20.

Если первые два типа мышления довольно четко и быстро узнаются, а потому нетрудно найти тактический подход в дискуссиях с такими людьми, то следующий



Бухта Сосновка (южная граница Баргузинского заповедника).



тип — так называемый псевдоэкологизм, опасен своей завуалированностью.

Люди, мыслящие и действующие по образцу третьего типа (к ним принадлежат единичные ученые и часть хозяйственников, организаторов производства, административных работников и др.), имеют определенное экологическое образование, они рассуждают в категориях охраны среды, видят потенциальный вред от загрязнения среды и т. д. Но главный недостаток в их концепции — оценка ситуации только по данному моменту, непродолжительному отрезку времени и выведение из этого момента обобщений, не соответствующих экологическим закономерностям в динамике, во времени и пространстве.

Еще один тип мышления — экологический. Именно такой подход к проблемам охраны биосферы и может считаться рациональным, поскольку основывается на взаимосвязях организмов и среды в экосистемах.

Во время горячих дискуссий вокруг загрязнения Байкала Байкальским целлюлозно-бумажным комбинатом псевдоэкологи, увидев, что в первые годы после пуска комбината и очистных сооружений никакого перелома в функционировании экосистем Байкала и его окрестностей не случилось (даже наоборот, некоторые организмы в озере стали как-будто процветать!) поспешили утверждать, что ничего существенно отрицательного в природе Байкала не происходит — очистные сооружения работают нормально, озеро само хорошо справляется с отходами, попадающими в него, повреждение лесов, если это вообще происходит от аэровыбросов комбината, ограничено очень узкой полосой и т. п. Такие выводы были преждевременными и в принципе неправильными. Но так как они звучали из уст людей, занимающихся охраной среды, то были приняты на веру, а экологи и гидробиологи, возражавшие против такой поверхностной оценки, получили незаслуженную кличку «паникеры».

Отчего же возник конфликт во взглядах и оценках между экологами и псевдоэкологами?

Каждая экосистема реагирует на чужеродные, не свойственные ее историческому развитию, факторы по-разному. Ее способность противостоять чуждым агентам зависит от того, сколь сложны состав и структура составляющих экосистему компонентов, стабильны и прочны связи между ними. Основательно нарушить равновесие в экосистеме не так уж трудно. Для этого нужен или сильный удар, так называемый экологический шок, или медленное, но постоянное вредное действие. Ущерб будет ощутимее, если удар попадет в самое слабое звено системы, а у каждой сложной экосистемы такое звено обычно есть. В Байкале, например, это комплекс эндемиков — узколокальных видов растений и животных (в основном низших и беспозвоночных), возникших и развившихся только в этом озере. Их поразительно много (среди животного мира больше 700 видов), но в то же время они настолько приспособились к жизни в специфичных условиях Байкала, что каждый чужеродный фактор может вызвать у них повреждения и даже привести к гибели.

До начала активного антропогенного вмешательства в жизнь Байкала (60-е годы) немногочисленные окрестные поселения и мелкие предприятия существенно на жизнь озера не влияли. Построенный на берегу целлюлозно-бумажный комбинат, несмотря на дорогостоящую очистную систему, стал для Байкала (особенно его южной части) противником-гигантом. Псевдоэкологи утверждали: загрязнение снижено до минимума, а с остальными озеро справится само. К сожалению, не справляется. Лигнин, сульфиды, хлориды и другие соединения все же попадают в озеро и медленно, но беспрерывно изменяют биоценозы вокруг очага загрязнения. Этот скрытый от поверхностного кратковременного наблюдения незаметный процесс проявляется в звеньях экосистемы, которые определяют работу всей сложной пищевой цепи биоты, сменяются целые сообщества, обедняется их видовой состав. Например, замечены существенные изменения в популяциях эпишуры, маленького рачка, составляющего основную биомассу зоопланктона. От этого, рачка зависит в конечном итоге жизнь высших звеньев трофической цепи экосистемы озера, в том числе и омуля. Часть экологов не придала этим изменениям особого значения, полагая, что рачки привыкнут, приспособятся. Видимо, не привыкнут, не должен привыкнуть к происходящему и человек.

Изменения, произошедшие в южной части Байкала, до сего времени протекают сравнительно медленно и в узкой зоне. Но они накапливаются и в конце концов, если не принять никаких мер, могут настолько изменить экосистему, что восстановить ее будет трудно, может быть даже невозможно. Изучив экологию обитателей озера в загрязненном водоеме, человек

должен обеспечить всем организмам условия нормальной жизни.

С этих позиций и подходят к проблемам Байкала сторонники экологического типа мышления. Они рассматривают живую часть природного комплекса экосистемы как пирамиду, в которой основу этого сложнейшего биологического сооружения образуют продуценты, создатели зеленой биомассы, а от их деятельности зависит процветание потребителей (консументов) всех порядков. Верхний блок пирамиды самый небольшой, но состоит из высокоразвитых организмов. Такая пирамида прочна лишь тогда, когда связи между блоками и окружающей средой сбалансированы, закреплены исторически. Повреждение даже одного блока ведет к нарушению отрегулированных эволюцией пищевых цепей, влечет за собой экологический сдвиг, толчок к изменениям экосистемы в целом.

В разных экосистемах эти изменения происходят с различной скоростью, зависящей от свойств самой системы и характера вмешательства. Задача экологии — установить типы изменений экосистем, но еще важнее прогнозировать изменения, наступающие под влиянием различных антропогенных воздействий. Современная наука в силах это сделать, но лишь в том случае, если имеется всесторонний аналитический материал о состоянии всех основных звеньев экосистемы и среды.

Проблема Байкала затрагивает в основном судьбу самого озера. Но большого внимания требуют и наземные экосистемы Прибайкалья, особенно в окрестностях крупных очагов загрязнения. Последние четыре года группа экологов Тартуского государственного университета в окрестностях Байкальска и в горах Хамар-Дабана изучала влияние атмосферного загрязнения на растительность. В качестве тест-организмов мы использовали низшие растения, в основном лишайники, реже водоросли, а из высших растений — мохообразные, покрывающие стволы и ветви деревьев. У этих групп организмов проявляется удивительное свойство селективного отношения к загрязнителям атмосферного воздуха. Среди богатой флоры лишайников (в лесах Хамар-Дабана их не менее 400 видов) имеется целый набор видов: от чувствительных даже к малейшим следам аэровыбросов, которые на высшие растения (особенно древесные породы) при кратковременном действии не влияют, до устойчивых к высоким концентрациям загрязнителей. Например, бородообразная уснея длиннейшая (Usnea longissima) погибает при концентрации сернистого ангидрида в воздухе 20—30 мкг/м^3, а леканора Хагена (Lecanora hageni) живет без повреждений при концентрации 150—170 мкг/м^3.

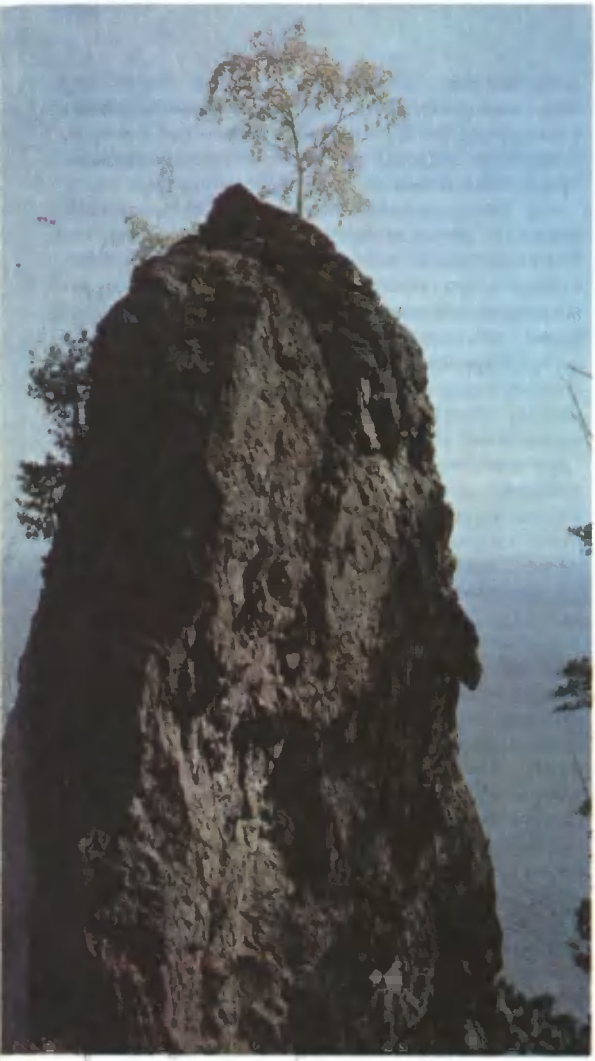
Зная экологию видов, их выносливость к загрязнителям, можно составить биоиндикационные карты загрязненности воздуха по распространению, обилию и жизнеспособности исследуемых растений. Если повторить обследование растений на картированной площади через 3—5 лет, можно получить картину динамики загрязнения, быстроты расширения площадей различной степени загрязненности. Самое главное — такие карты позволяют предсказать наступающую угрозу повреждения лесов: низшие растения более чувствительны к загрязнителям и изменения в составе их сообществ появляются раньше, чем можно заметить изменения у древесных растений.

Составив биоиндикационную карту горных лесов Хамар-Дабана, мы обнаружили, что загрязненных площадей здесь больше, чем считалось раньше. Зона среднего и среднесильного загрязнения тянется на 15—20 км от Байкальска, а слабого — достигает 70 км. Кроме того, оказалось, что такие участки не образуют сплошной зоны, а чередуются с территориями, не затронутыми загрязнением. Например, в Хамар-Дабане на высоте 1000—1300 м над ур. м. после «чистых» площадей появляются загрязненные лесные массивы. Мозаичность загрязненных территорий зависит от формы рельефа в горных странах и движения «факела» аэровыбросов.

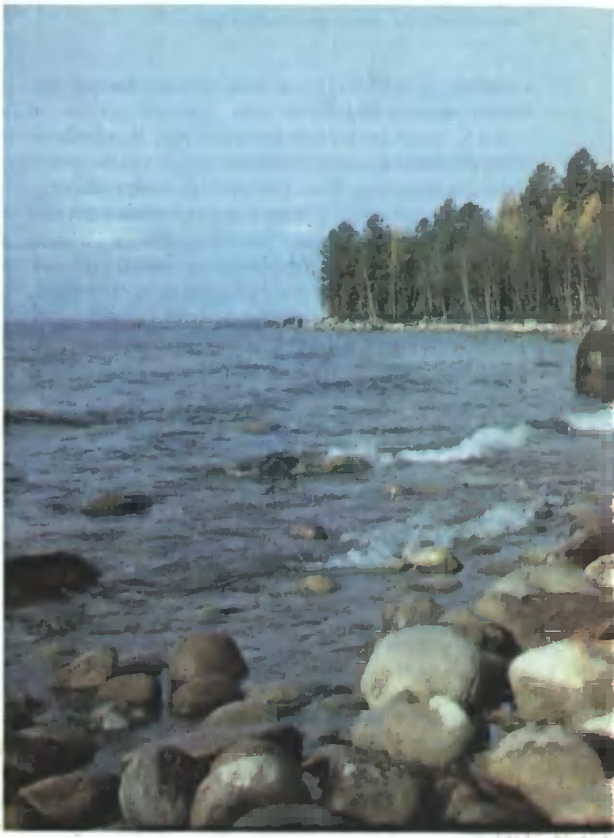
Что касается «процветания» некоторых видов в условиях загрязнения, то это часто встречающееся и объяснимое явление. На начальной стадии эвтрофикации чужеродные соединения, в том числе и многие токсические, в малых дозах могут действовать как стимуляторы, вызывая активизацию жизнедеятельности организмов. Но, во-первых, процветание длится не долго, а во-вторых, оно свойственно далеко не всем организмам. И даже в процветающих организмах такие соединения постепенно накапливаются и приводят к гибели, а соответственно, обеднению биоты.

Изучением Байкала и Прибайкалья занимаются исследователи многих научных учреждений, проводится контроль за изменением среды и организмов Байкала, изучается влияние загрязнителей на их жизнедеятельность, биомассу, сообщества.

Летом 1981 г. в Байкальске состоялась всесоюзная школа-семинар «Научное обос-

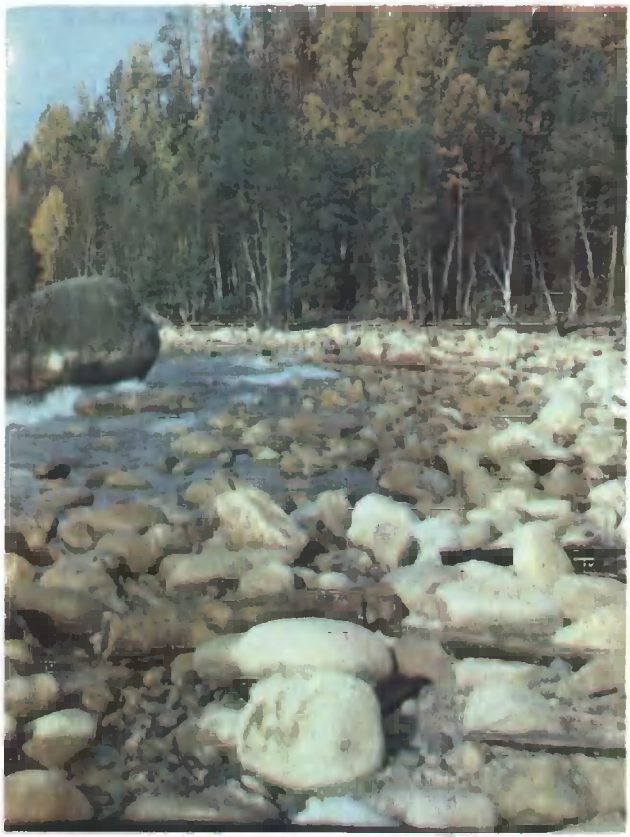


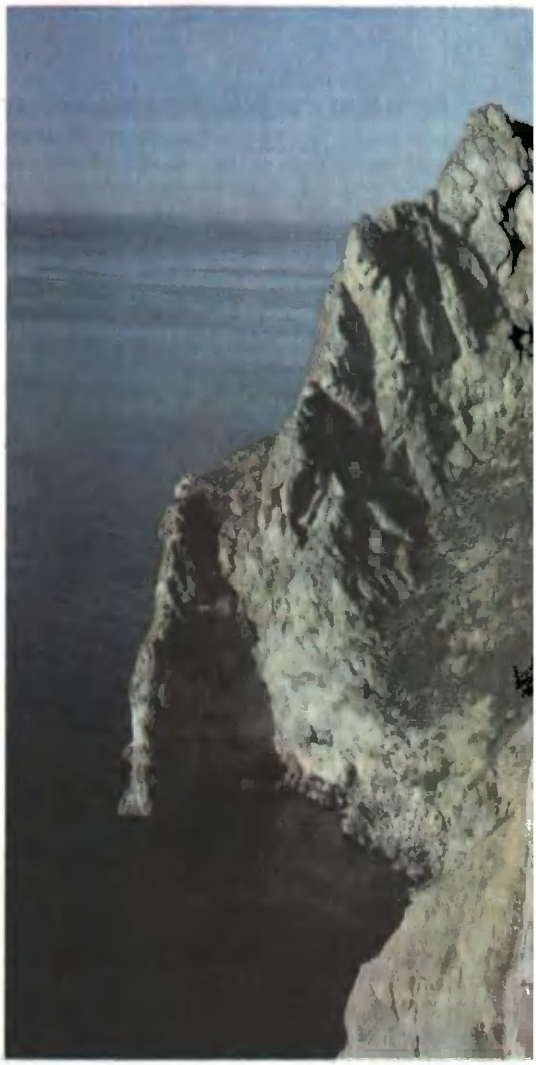
Скала Два Брата невдалеке от Больших Котов на Южном Байкале.



Бухта Давше (Баргузинский заповедник).

нование и разработка систем комплексного регионального мониторинга состояния озера Байкал». На этом авторитетном форуме ученых «байкалистов» из многих научных центров нашей страны была принята резолюция, в которой особо подчеркивалась необходимость комплексного, всестороннего экологического подхода к проблемам Байкала. Можно надеяться, что восторжествует и настоящий экологический тип мышления при рассмотрении





Мыс Саган-Хушун на о-ве Ольхон.

Естественная «оранжерея» на камне (юго-восточное побережье Байкала).

и оценке всех главных вопросов изучения и охраны Байкала, окружающих его ландшафтов и природных богатств.

Байкал мы воспринимаем как этический эталон: по тому, как мы разрешим проблемы его сохранения, будущие поколения дадут нашему усердию оценку. И эта оценка может оказаться отрицательной, если мы не сумеем сохранить величественный Байкал таким, каким он открывался декабристам, Чехову и помнится еще нам.

Атомы межзвездной среды в Солнечной системе

В. Г. Курт

Владимир Гдалевич Курт, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией Института космических исследований АН СССР, профессор Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Занимается вопросами внеатмосферной (ультрафиолетовой и рентгеновской) астрономии. Им был обнаружен эффект проникновения атомов межзвездной среды в Солнечную систему («Зонд-1», 1963 г.), а также присутствие водорода на Венере («Венера-4», 1968 г.) В 1983 г. В. Г. Курту была присуждена высшая награда общества «Знание» — медаль им. С. И. Вавилова. Неоднократно печатался в «Природе».

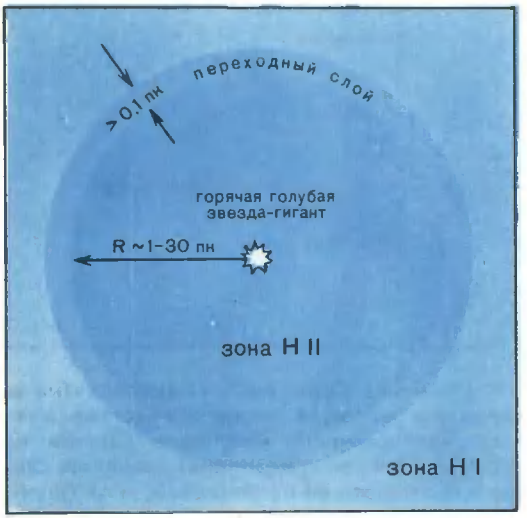
В ОКРЕСТНОСТЯХ ГОЛУБЫХ ГИГАНТСКИХ ЗВЕЗД

Межзвездная среда — атомы, молекулы, пыль, магнитные поля — традиционный объект астрофизических исследований. Изучать ее начали около полувека назад, и с тех пор многие вопросы физики межзвездной среды были успешно решены.

Обнаруживают атомы межзвездной среды главным образом по поглощению или рассеиванию ими света от звезд на пути к наблюдателю. Именно по линиям поглощения в спектрах звезд были обнаружены десятки атомов, составляющих Периодическую систему Д. И. Менделеева: H, He, O, N, C, Mg, Si, Cl, S, Fe, Na и др. Благодаря этим наблюдениям, особенно успешным в ультрафиолетовом диапазоне длин волн, в котором расположены основные линии всех атомов, стало возможным количественное изучение химического состава межзвездных плотных облаков, газово-пылевых конденсаций и даже разреженной среды, находящейся в пространстве между облаками. В масштабе всей Галактики облака холодного межзвездного газа изучены по его радиоизлучению на длине волны 21 см (линия водорода). Сегодня молекулярные облака детально исследуют по радиолиниям десятков молекул (главным образом CO, H_2O, OH), включая органические молекулы сложного строения. Ионизованные сравнительно плотные облака межзвездного газа также изучают по наблюдениям рекомбинационных радиолиний водорода и гелия в сантиметровом и миллиметровом диапазонах длин волн.

По современным представлениям, основанным на результатах многочисленных наблюдений и на достаточно развитой теории, строение межзвездного вещества выглядит следующим образом. Межзвездный газ может находиться в двух устойчивых состояниях: в нейтральном (HI) или ионизованном (HII). Нейтральный газ сконденсирован в плотные, маленькие и холодные облака размером меньше 1 пк, концентрация атомов и молекул в которых достигает 100—1000 частиц/см^3, температура очень низкая, 20—80 К, а степень ионизации мала, 10^{-4}—10^{-6}. Именно в таких облаках велико (до 90 %) содержание молекулярного водорода, других молекул и пыли. Масса этих облаков примерно равна 10—100 массам Солнца. Находящийся между ними нейтральный газ с концентрацией всего 0,1—1 частиц/см^3 имеет температуру около 10 000 К. Степень ионизации его невелика — 0,1—0,2, т. е. отношение числа ионов к полному числу ионов и нейтральных атомов составляет 10—20 %.

Ионизованный газ (зоны HII) может устойчиво находиться либо вблизи горячих и молодых звезд, которые своим жестким ультрафиолетовым излучением и производят его ионизацию, либо в областях, нагретых при взрывах сверхновых звезд; подобные области получили название пузырей[1]. Области HII вблизи горячих звезд, или так называемые зоны Стремгрена, имеют температуру от 5 до 10 тыс. К, т. е. такую же, как и межоблачная нейтральная среда, однако водород внутри зоны Стремгрена ионизован практически полностью. В пузы-



Распределение межзвездного водорода в зонах HII и HI вблизи горячей гигантской звезды спектрального типа O или B. HII — зона, в которой водород полностью ионизован; в зоне HI водород в основном нейтрален, степень его ионизации 10—20 %; эта зона тянется до бесконечности. В узком переходном слое степень ионизации водорода скачком меняется от 100 до 10 %.

рях температура существенно выше — около миллиона градусов, при этом плотность низка, примерно 0,1—0,01 частиц/см^3. Конечно, существуют и более плотные облака, туманности, как ионизованные, так и нейтральные (что зависит лишь от их соседства с горячими голубыми звездами). Наиболее изучены классические зоны Стремгрена, окружающие такие звезды.

[1] Подробнее об этом см.: Имшенник В. С. Гигантский пузырь горячего газа в галактической межзвездной среде.— Природа, 1981, № 12, с. 33.

Теория, созданная Б. Стремгреном (США) в 1939 г., проста и изящна. Она позволяет определить радиус зоны ионизованного водорода HII в зависимости от потока квантов, излучаемых звездой за пределом Лаймановского континуума, т. е. на длинах волн короче 912 Å, и от электронной плотности внутри этой зоны. В основе теории лежит уравнение баланса между числом жестких фотонов, излучаемых звездой, и числом рекомбинаций атомов водорода на все уровни, кроме первого (основного), внутри зоны искомого радиуса. С учетом численного значения атомных констант радиус зоны Стремгрена R_c оказывается равным:

$$R_c = 3{,}2 \cdot 10^{-15} n_e^{-2/3} F_*^{1/3} \text{ пк},$$

где n_e — электронная плотность, равная, очевидно, плотности ионов, поскольку водород внутри зоны Стремгрена почти полностью ионизован; F_* — число фотонов, излучаемых звездой за секунду, в области длин волн короче 912 Å, так как только фотоны с большей энергией могут ионизовать атомы водорода.

Граница между областями полной ионизации водорода (HII) и нейтральным газом (HI) очень резкая и составляет всего 0,01—0,1 пк, тогда как радиус самой зоны Стремгрена равен 1—30 пк в зависимости от светимости звезды и плотности газа. Если, как это следует из наблюдений, за величину средней плотности межзвездной среды принять 1 частиц/см^3, то масса газа, заключенная внутри зоны Стремгрена, будет гигантской — около 10^4—10^5 масс Солнца (что в десятки тысяч раз превышает массу самой ионизирующей звезды!). Зона Стремгрена весьма стационарна, т. е. ее параметры меняются очень медленно: характерное время изменения 10^6—10^7 лет.

В ОКРЕСТНОСТЯХ СОЛНЦА

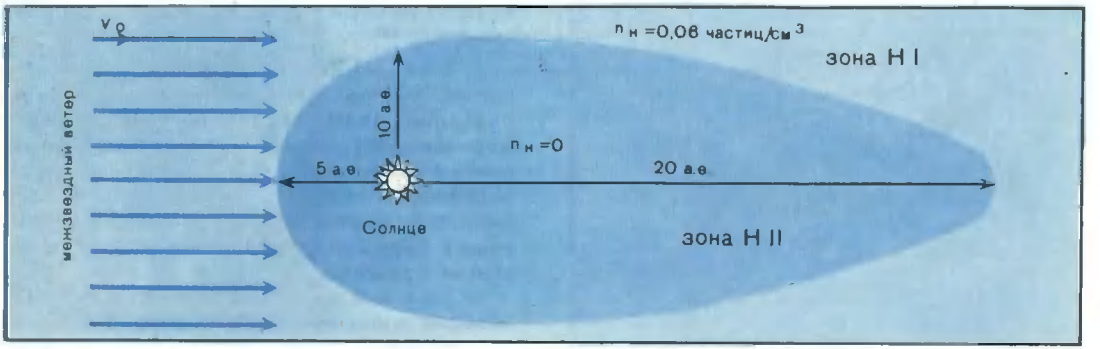
К сожалению, теория Стремгрена не применима к межзвездному газу, окружающему холодные карликовые звезды типа нашего Солнца. Дело в том, что ионизация газа ультрафиолетовым излучением звезды происходит очень быстро: на расстоянии орбиты Земли среднее время жизни атома гелия (в нейтральном состоянии) составляет всего 1 год, а атома водорода — еще в 10 раз меньше. Характерное же время рекомбинации водорода равно 100 тыс. лет. Очевидно, что за это время, пока ионизованный газ успеет рекомбинировать, звезда заметно сместится. За холодной карликовой звездой останется ионизованный хвост, который будет медленно размываться

за счет рекомбинации и диффузии нейтральных атомов межзвездной среды. Двигаясь относительно межзвездного газа со скоростью всего 10 км/с, звезда за 100 тыс. лет (время рекомбинации) пройдет путь, равный 1 пк, что в сотни раз больше радиуса зоны Стремгрена, вычисленного для Солнца по формуле классической теории.

Вопрос об истинном движении Солнца по отношению к межзвездному газу и размерах зоны HII может быть решен путем наблюдений. Ясно лишь, что все холодные звезды окружены крошечными зонами HII, имеющими вытянутую конусообразную форму.

Попробуем по-другому взглянуть на приведенную выше картину. Представим себе, что наше Солнце (или любая другая холодная карликовая звезда) покоится, а нейтральные атомы межзвездной среды набегают на него с одинаковой скоростью v_0 с одной и той же стороны. По мере приближения к Солнцу их траектории из-за притяжения Солнца будут искривляться, а скорости увеличиваться. Вблизи Солнца бóльшая часть атомов водорода будет ионизована и вновь выброшена за пределы Солнечной системы благодаря взаимодействию с магнитным полем солнечного ветра[2]. А вот атомы гелия из-за высокого потенциала ионизации (24 эВ) останутся нейтральными.

С другой стороны, нейтральные атомы водорода подвергаются также давлению солнечных фотонов с длиной волны, соответствующей линии водорода (самая яркая линия солнечного ультрафиолетового спектра — 1215,7 Å). При очень большом (около (2—6)· 10^{11} фот/см^2 · Å) потоке квантов с такой длиной волны их давление может даже превысить гравитационное притяжение Солнца, в этом случае атомы водорода будут разбегаться в стороны при сближении с Солнцем. Атомы гелия (из-за большей массы, а также вследствие того, что интенсивность излучения Солнца на длинах волн гелия невелика) давлению света практически не подвержены, и их гиперболические траектории всегда сфокусированы к оси вдоль линии «за Солнцем». Очевидно, атомы водорода и гелия вблизи Солнца должны рассеивать фотоны с длинами волн, соответствующими ярким ультрафиолетовым линиям солнечного спектра: для водорода — это главным образом линия L_α (1215,7 Å), для гелия — линия HeI (584 Å).

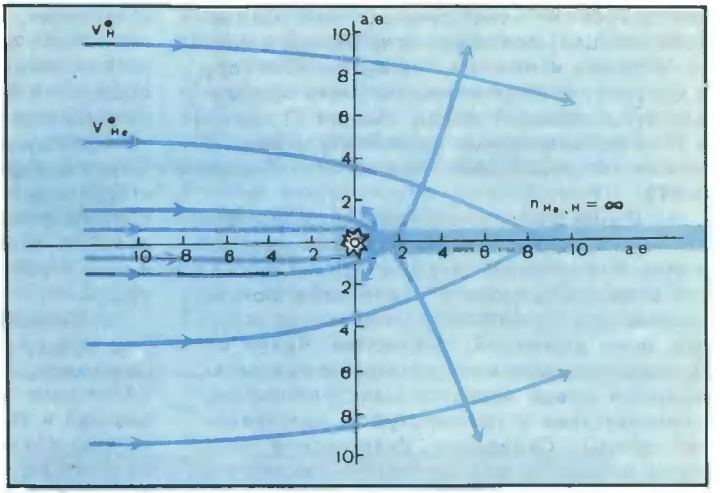


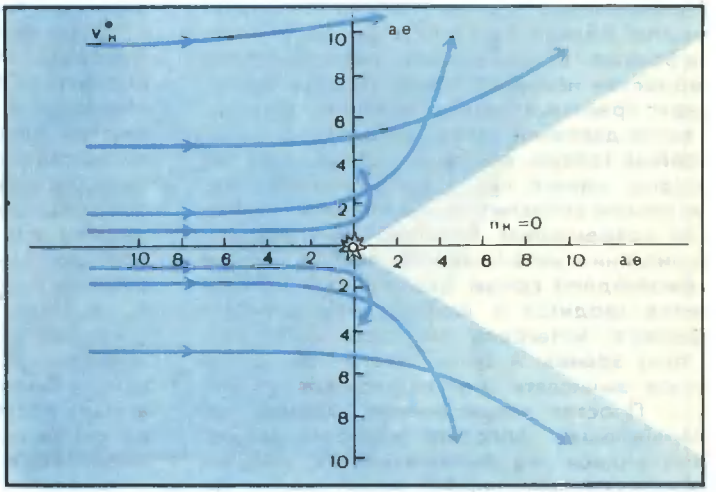
Форма и размеры зоны HII вблизи Солнца. Граница между областями HII и HI соответствует 50 %-ной степени ионизации водорода. Расчет сделан для случая, когда скорость атомов межзвездного ветра v_0 на бесконечности равна 25 км/с.

Эффект проникновения атомов водорода из межзвездной среды в окрестности Солнца был впервые обнаружен автором статьи в 1963 г. по их свечению в линии водорода L_α. И сегодня наблюдения на длинах волн водорода и гелия — пока еще единственный способ изучения этого явления, получившего образное название «межзвездного ветра». Для его исследования в Советском Союзе, США и Франции было проведено несколько специальных экспериментов с помощью искусственных спутни-

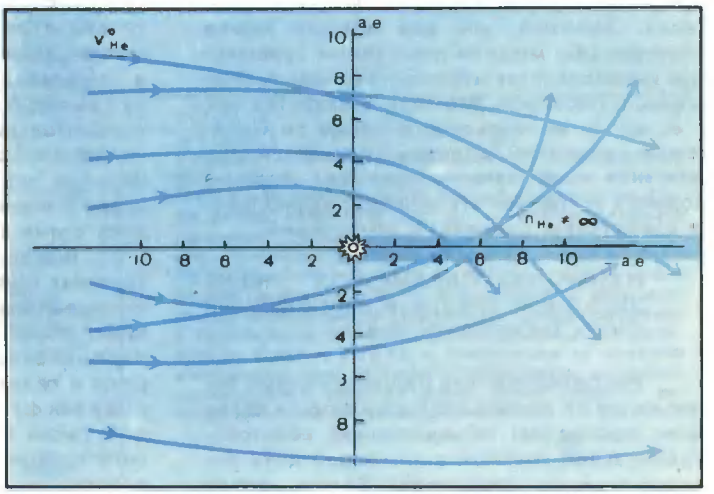
[2] Солнечный ветер — поток плазмы с «вмороженным» магнитным полем, выбрасываемой Солнцем со скоростью вблизи Земли около 500 км/с и плотностью около 1 протона/см^3. Подробнее об этом явлении см., напр.: Ефимов А. И., Яковлев О. И. Солнечный ветер.— Природа, 1984, № 1, с. 11.

Движение нейтральных атомов водорода и гелия (их траектории показаны стрелками) вблизи Солнца в рамках «холодной модели» местной межзвездной среды. В е р х у — световое давление солнечных фотонов отсутствует, в н и з у — световое давление превышает гравитационное притяжение Солнца (этот случай реализуется для водорода лишь в период максимума солнечной активности). Скорости всех атомов водорода на бесконечности одинаковы и равны v^0_H, всех атомов гелия — v^0_{He}. На верхнем рисунке плотность атомов $n_{He,H}$ на оси «за Солнцем» равна бесконечности, на нижнем рисунке — n_H равна нулю.





Движение нейтральных атомов межзвездной среды согласно «горячей модели», в которой учитывается начальный разброс скоростей атомов по величине и направлению. В результате бесконечная плотность на оси «за Солнцем» дивидируется.



ков Земли и межпланетных автоматических станций, запущенных к Венере, Марсу, а также к планетам-гигантам Юпитеру и Сатурну. В теоретическую часть проблемы существенный вклад внесли П. Блум и Г. Фар, астрономы из Института космических исследований имени М. Планка (ФРГ).

Однако описанная выше простая теоретическая картина — лишь первое приближение к реальной ситуации. Дело в том, что атомы водорода и гелия набегают на Солнце не с одного направления и не с одной, фиксированной, скоростью. Вдали от Солнца распределение их скоростей в межзвездной среде является максвелловским, в соответствии с температурой межзвездной среды. Складывая хаотические скорости атомов с относительной скоростью движения Солнца, мы получаем истинное распределение скоростей «на бесконечности». Вблизи от Солнца (на расстоянии не больше 100—10 а. е.) это распределение скоростей искажается еще сильнее благодаря гравитационному влиянию Солнца, а также давлению света на атомы водорода. Вообще говоря, учесть эти эффекты не так трудно, однако при этом возникают значительные вычислительные сложности даже для современных больших ЭВМ: задача вычисления интенсивности потока атомов межзвездной среды для данного направления сводится к нахождению четырехкратного интеграла по трем скоростям и лучу зрения. А таких интегралов приходится вычислять много десятков тысяч.

Простая теоретическая модель, не учитывающая теплового разброса скоростей атомов «на бесконечности», получила название «холодной модели», тогда как истинной картине отвечает «горячая модель». Заметим, что для области перед Солнцем обе модели дают почти одинаковую интенсивность излучения (а также, очевидно, и плотность атомов). В «хвосте» же, т. е. вдоль ионизованного следа за Солнцем, в «холодной модели» получается бесконечная плотность, тогда как «горячая модель» устраняет эту ошибку, являющуюся следствием сделанных допущений.

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЕЖЗВЕЗДНОЙ СРЕДЫ В БЛИЖАЙШИХ ОКРЕСТНОСТЯХ СОЛНЦА

Наиболее полные одновременные наблюдения на длинах волн водорода и гелия были проведены объединенной советско-французской группой с помощью двух высокоапогейных спутников Земли серии «Прогноз», а также автоматической межпланетной станции «Венера». Эксперимент «Межпланетный гелий» на «Прогнозе» проводился в рамках советско-французского сотрудничества специалистами Института космических исследований АН СССР и Службы аэрономии Франции. С советской стороны в нем, помимо автора, участвовали Е. Н. Миронова, М. С. Бургин, А. С. Смирнов и Н. А. Эйсмонт, с французской стороны — Ж.-Э. Бламон, Ж.-Л. Берто и Ф. Даладье.

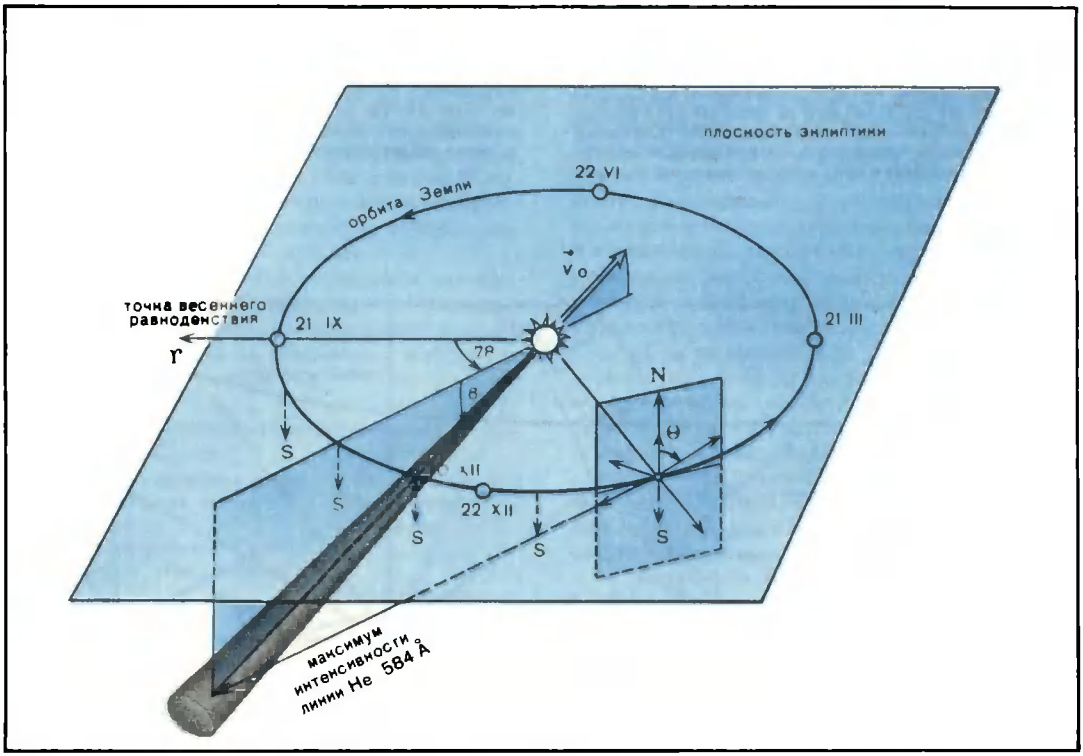
Разработанный для наблюдений прибор представлял собой четырехканальный фотометр, регистрировавший рассеянное солнечное излучение на длинах волн водорода и гелия (L_α и HeI). Благодаря вращению спутника вокруг оси, направленной на Солнце, оптическая ось прибора описывала на небе большой круг с центром в Солнце. Из-за смещения Солнца, равного 1°/день, поле зрения фотометра осматривало всю небесную сферу за полгода. Прибор регистрировал яркость неба в линиях водорода и гелия, а также измерял полуширину линии водорода. Это измерение проводилось с помощью фильтра-кюветы, наполненной молекулярным водородом; при диссоциации водорода на атомы (из-за нагрева вольфрамовой нити накаливания) поглощалось излучение с длиной волны, соответствующей центральной части линии L_α; в результате наблюдаемая интенсивность сигнала уменьшалась. Измерив таким образом полуширину линии излучения, можно было затем вычислить температуру атомов водорода межзвездной среды вдали от Солнца, там, где их функция распределения по скоростям является максвелловской.

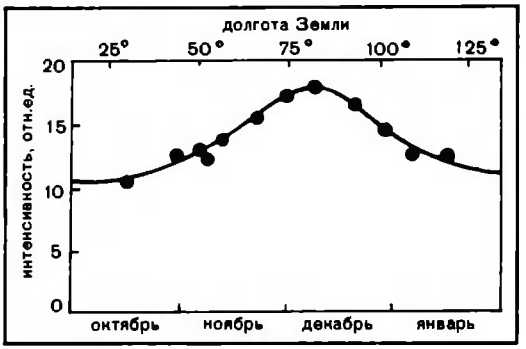
В советско-французском эксперименте мы стремились определить все параметры задачи: плотность водорода и гелия в межзвездной среде вдали от Солнца, их температуру, скорость движения Солнца относительно межзвездного газа, время жизни атомов водорода и гелия в поле солнечного ультрафиолетового излучения,— всего 9 параметров; для этого использовались сотни тысяч измерений.

Вся проблема была расчленена на ряд крупных программ для большой ЭВМ. Основные этапы вычислений свелись к следующим: обработка показаний прибора, т. е. определение интенсивности в линиях водорода и гелия, а также ширины линии водорода как функции времени. Далее, для каждой точки измерений нужно было вычислить положение спутника на орбите и направление оптической оси прибора. Для

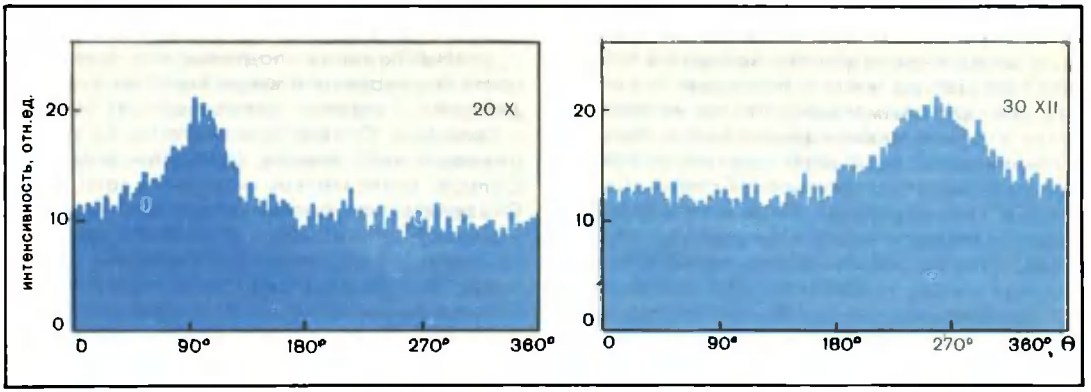
этого в память ЭВМ вводились массивы чисел, определяющих траекторию спутника, а также параметры его вращения относительно центра масс. С помощью третьей крупной программы вычислялась интенсивность в обеих линиях (водорода и гелия) в зависимости от физических параметров задачи — скорости движения Солнца, плотности и температуры атомов межзвездной среды, скорости ионизации атомов водорода и гелия. Минимизируя ошибку, т. е. разницу между теоретической и наблюдаемой интенсивностью, можно было определить основные параметры межзвездной среды в ближайших окрестностях Солнца.

Наблюдения подтвердили правильность нарисованной выше картины взаимодействия атомов межзвездной среды с Солнцем. Особенно интересно было определить направление, в котором движется Солнце относительно межзвездного газа. Оказалось, что оно заметно, на 50°, отличается от направления, в котором движется Солнце относительно ближайших к нам звезд. Это означает, что газ в окрестностях Солнца имеет свою собственную скорость,

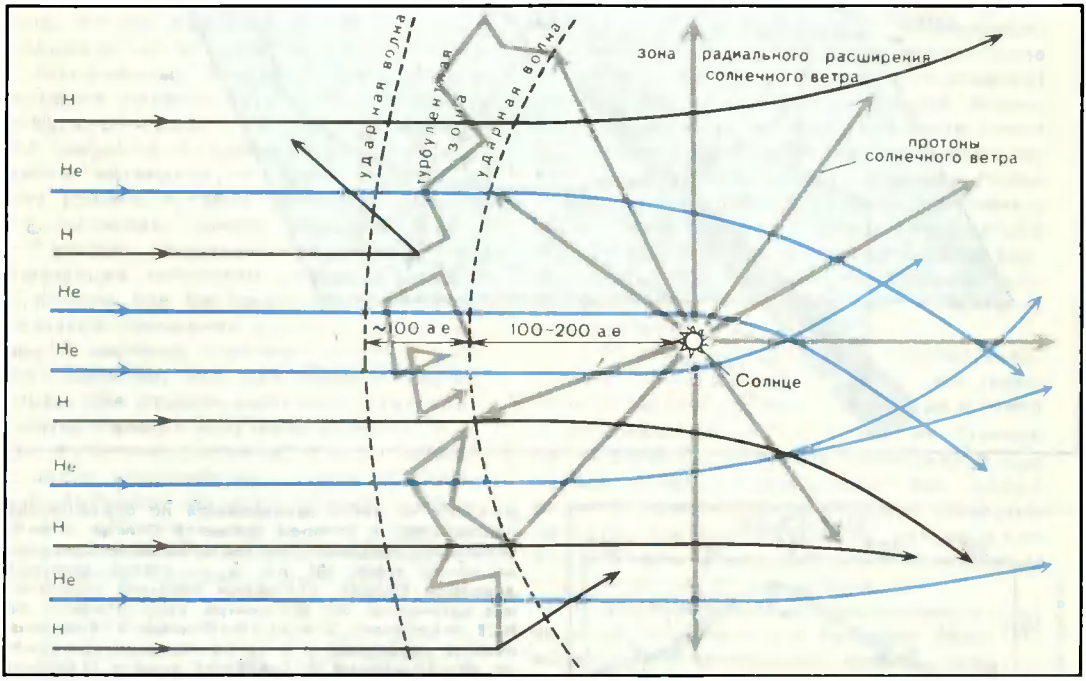




Вверху — схема эксперимента по определению направления, в котором движется Солнце относительно межзвездного газа (по наблюдениям на длине волны гелия 584 Å); $\vec{v}_0$ — вектор скорости движения Солнца. Стрелками показано направление оптической оси фотометра, установленного на ИСЗ «Прогноз»; S и N — Южный и Северный полюса эклиптики; Θ — угол поворота фотометра, отсчитываемый от Северного полюса эклиптики в направлении против часовой стрелки, если смотреть из Солнца. **Внизу** — зависимость от времени наблюдения (или долготы) интенсивности излучения межзвездного газа на длине волны гелия в направлении Южного полюса эклиптики.



Интенсивность излучения межзвездного газа на длине волны гелия вдоль круга сканирования фотометра ИСЗ «Прогноз» (20 октября и 30 декабря 1977 г.). Начало отсчета углов — направление на Северный полюс эклиптики. Максимум интенсивности вблизи 270° (и 90°) соответствует направлению на ось фокусировки атомов гелия (направление максимальной плотности). Из схемы на предыдущем рисунке видно, что до 10 декабря максимумы интенсивности наблюдаются при значениях углов вблизи 90°, а после 10 декабря — вблизи 270°.



Теоретическая схема взаимодействия солнечного ветра с набегающими нейтральными атомами межзвездной среды. Показаны две ударные волны, зона радиального расширения солнечного ветра, турбулентная зона между ударными волнами, заполненная горячей плазмой с $T=10^7$ К. Атомы гелия проникают в окрестности Солнца без взаимодействия с «горячими» протонами солнечного ветра и турбулентной зоны. Атомы водорода, возможно, испытывают рассеяние на «горячих» протонах в турбулентной зоне.

отличную от скорости звезд. Возможно, этот факт отражает более глубокую сущность движения газа и звезд в Галактике, ее спиральную структуру и бегущие по ней спиральные волны плотности. Температура межзвездной среды, определенная по атомам гелия и водорода, составляет около 13 000 К, что вполне соответствует модели разреженной зоны HI с низкой степенью ионизации (около 10 %) и плотностью 0,06 частиц/см^3 для водорода и 0,018 частиц/см^3 — для гелия.

Конечно, мы исследуем межзвездную среду в самых ближайших солнечных окрестностях, на расстоянии 100—1000 а. е. от Солнца. Это составляет всего одну сотую парсека, в то время как радиоастрономические методы наблюдений применимы к расстояниям в десятки, сотни и тысячи парсек. И то что данные, полученные столь разными методами для столь разных расстояний, согласуются между собой, говорит о правильности современной концепции строения межзвездной среды.

В заключении этого раздела приведем найденные нами параметры межзвездной среды и скорость относительного движения Солнца.

Плотность атомов водорода	0,06 частиц/см^3
Плотность атомов гелия	0,018 частиц/см^3
Температура	11—15 тыс. К
Скорость движения Солнца относительно межзвездного газа	25±2 км/с
Направление движения Солнца:	
α_0 (прямое восхождение)	258°±2°
δ_0 (склонение)	—17°±2°
Время жизни атома водорода в поле солнечного УФ-излучения на расстоянии 1 а. е.	$2 \cdot 10^6$ с
Время жизни атома гелия (при тех же условиях)	$1 \cdot 10^7$ с
Полуширина линии гелия (584 Å) в спектре Солнца	0,08 Å

ЗАДАЧИ НА БУДУЩЕЕ

Солнечное ультрафиолетовое излучение не остается постоянным, и это, конечно, сказывается на многих из определяемых параметров межзвездной среды. Обнаружить эти изменения, связанные с активностью Солнца,— задача будущих наблюдений.

Не совсем ясен вопрос о взаимодействии нейтральных атомов водорода с солнечным ветром на далекой периферии Солнечной системы. Согласно имеющимся теоретическим представлениям, сверхзвуковой поток солнечного ветра останавливается на расстоянии 100—200 а. е. При этом его радиальная скорость, равная около 500 км/с, трансформируется в тепловую, или хаотическую. В результате образуется слой разогретой до 10^6—10^7 К плазмы, ограниченной двумя образовавшимися ударными волнами, расстояние между которыми также примерно 100 а. е. Атомы водорода, проникая со сверхзвуковой скоростью в Солнечную систему, могут взаимодействовать с «горячими» протонами солнечного ветра, находящимися в промежутке между двумя ударными волнами. Происходит процесс их перезарядки: нейтральный атом водорода и протон обмениваются электроном. В результате образуется «горячий» атом нейтрального водорода и медленный, «холодный» протон. Для водорода процесс перезарядки носит резонансный характер, т. е. обладает очень большой эффективностью.

К сожалению, вся эта картина взаимодействия пока чисто умозрительная, еще не существует наблюдений, которые бы подтвердили ее. Было бы очень интересно провести такие наблюдения, например, с помощью детекторов быстрых нейтральных частиц обнаружить быстрые нейтральные атомы водорода, температура которых около миллиона градусов.

В отличие от водорода, атомы гелия, благодаря нерезонансному характеру процесса перезарядки с протонами, проникают в окрестности Земли, испытывая лишь гравитационное притяжение Солнца, что точно учитывается теорией, о которой говорилось выше. Именно поэтому наблюдения, проведенные на длине волны гелия (584 Å), дают более достоверные сведения о межзвездной среде, нежели на длине волны водорода (1215,7 Å).

Очень важно также получить из наблюдений какие-либо сведения о процессе торможения солнечного ветра на границе Солнечной системы и тем самым подтвердить (или опровергнуть) теоретические расчеты, связанные с образованием двух ударных волн.

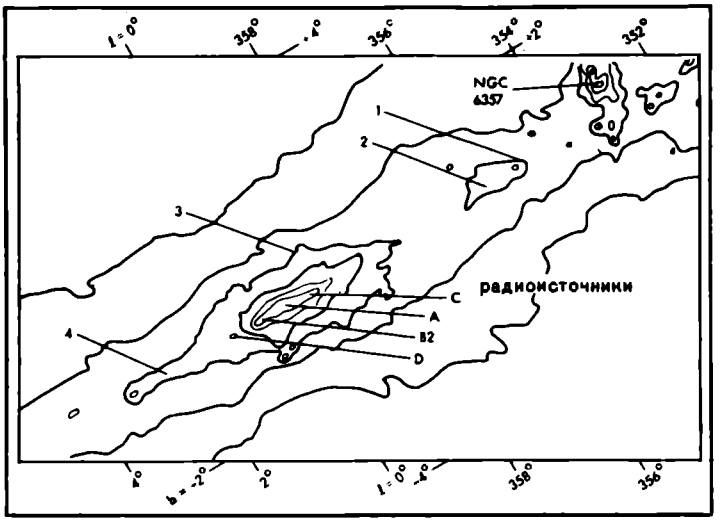
«ИРАС» наблюдает галактики и квазары

Л. И. Гурвиц
Институт космических исследований АН СССР
Москва

Освоение нового диапазона электромагнитных волн в астрономии всегда приводило к получению важных и подчас неожиданных сведений о Вселенной. Подтверждением этому служат результаты наблюдений инфракрасного астрономического спутника «ИРАС» (IRAS—Infrared Astronomical Satellite), в создании которого принимали участие специалисты из Голландии, Англии и США. Накопленные до его полета данные об излучении астрофизических объектов в диапазоне длин волн от 10 до 100 мкм были довольно скудными. Поэтому не будет преувеличением утверждать, что «ИРАС» открыл новую страницу в инфракрасной астрономии. Инфракрасное небо, представшее перед астрономами в результате наблюдений «ИРАС», заметно отличается как от привычного оптического, так от радио- и рентгеновского неба.

Среди многих причин, вызывающих интерес астрономов к инфракрасному диапазону, выделим две. Во-первых, в этом диапазоне лежит максимум теплового излучения черного тела при температурах порядка десятков — сотен градусов Кельвина. А именно такой может быть температура частичек межзвездной пыли — формы материи, играющей важную роль в эволюции космических объектов. Поэтому мир, увиденный приборами «ИРАС», можно назвать (условно, конечно) «миром пыли».

Во-вторых, промежуточное положение инфракрасного диапазона между оптическим и радио- позволяет «сшивать» спектры излучения астрофизических объектов. Благодаря этому достоверность тех или иных выводов о физике наблюдаемого



Инфракрасная карта центра Галактики, построенная по данным «ИРАС». Для выделенных областей, отмеченных цифрами 1 — 4, получены рекордно точные оценки температуры пыли (24 — 27 К) и ее поверхностной плотности (0,6 — 2,0)· 10^{-3} г/см^2. Детали A, B2, C и D — известные компоненты радиоисточника Стрелец А. По периметру карты нанесена сетка галактических координат.

явления многократно возрастает.

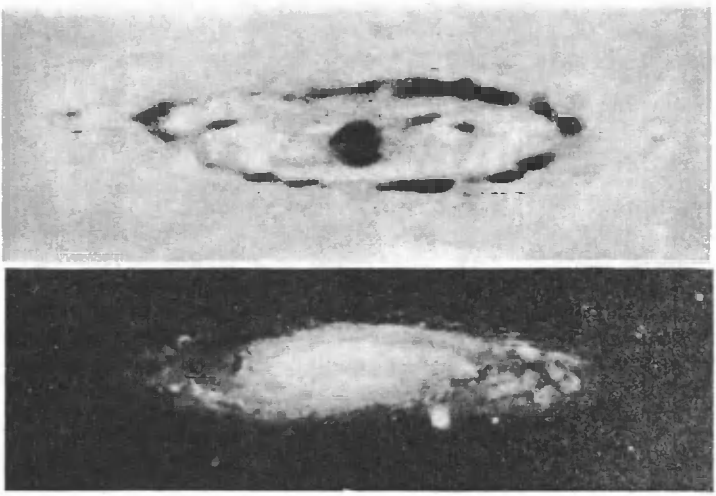
Не останавливаясь на результатах наблюдений близких астрономических объектов — Солнечной системы и отдельных звезд Галактики[1],— обратимся к исследованиям далеких источников[2]. Первым среди них можно назвать центр нашей Галактики, к которому сегодня приковано пристальное внимание астрофизиков[3].

Напомним, что центр Галактики скрыт толстым слоем пылевых облаков, и поэтому особенно эффективны его наблюдения в радио- и инфракрасном диапазонах. Этим и объясняется интерес специалистов к картам излучения на длинах волн 12, 25, 60 и 100 мкм, построенным по данным «ИРАС». Карты отличают широкое поле — (8×16°), высокие чувствительность (5· 10^5 Ян/стер) и угловое разрешение (4′). Тщательное сопоставление вновь полученных инфракрасных карт с имеющимися данными позволит в дальнейшем уточнить наши представления о физических процессах в центре Галактики. Однако даже из предварительного анализа следует, что в инфракрасном диапазоне вблизи центра имеются компактные источники, не совпадающие с какими-либо

[1] Об этом см.: Еще одна солнечная система? — Природа, 1984, № 4, с. 105; Необычный хвост кометы.— Там же, № 5, с. 106; Третья солнечная система? — Там же, № 7, с. 102; Астрономические открытия инфракрасного спутника «ИРАС».— Там же, с. 103.

[2] Astroph. J. Lett., 1984, v. 278, № 1, part 2.

[3] Подробнее об этом см.: Движение газа в центре Галактики.— Природа, 1984, № 6, с. 107.



Изображение туманности Андромеды в инфракрасном (в в е р х у) и оптическом (в н и з у) диапазонах спектра. Оптическая фотография получена в голубом цвете (стандартная фотометрическая полоса B) на 48-дюймовом телескопе обсерватории Маунт-Паломар (США). Инфракрасное изображение — результат обработки данных «ИРАС» на волне 60 мкм. Отчетливо видны совпадения структурных деталей на обоих изображениях: яркое пятно в центре и спиралеобразные детали на периферии.

деталями на радиокартах. Наиболее яркий из них — неидентифицированный точечный источник на расстоянии около трех градусов от собственно центра Галактики. Плотность потока излучения этого источника соответствует температуре черного тела около 220 К. Природа источника пока не ясна.

Наряду с неидентифицированными на инфракрасных картах можно заметить и уже известные детали: это радиоисточники Стрелец A, B2 C и D, область горячего ионизованного водорода (HII-область), NGC 6357 и другие. Подобные совпадения позволяют с еще большей уверенностью интерпретировать полученные с помощью «ИРАС» данные.

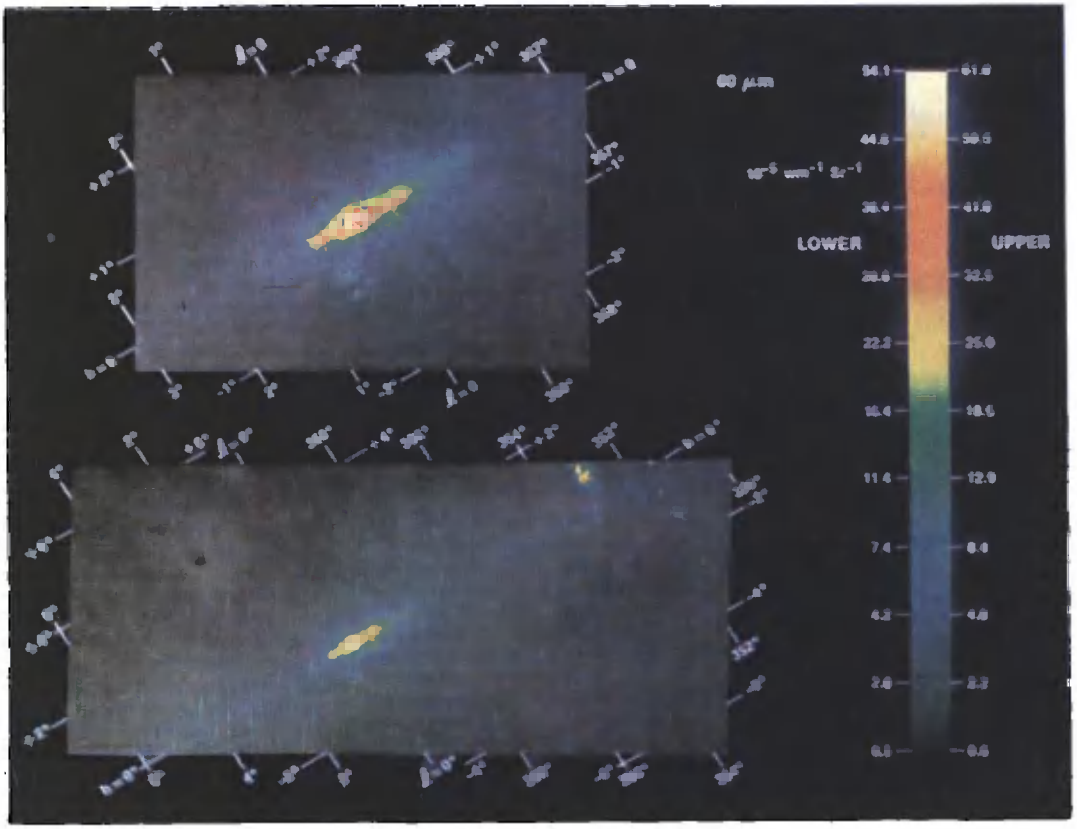
Следующий по шкале расстояний источник, исследовавшийся спутником, находится вне Млечного Пути. Это ближайшая спиральная галактика M 31 (или туманность Андромеды). На всех четырех картах, построенных по данным «ИРАС» и соответствующих диапазонам 12, 25, 60 и 100 мкм, отчетливо видны два характерных структурных элемента: протяженный источник в центре и кольцо спиралеподобных деталей на периферии галактики. Инфракрасное изображение туманности Андромеды на волне 60 мкм было сопоставлено с оптическим изображением, полученным с помощью 48-дюймового телескопа обсерватории Маунт-Паломар (США). Совпадение спиралеподобных инфракрасных деталей с видимыми пылевыми перемычками на оптических изображениях туманности подтвердило предположение о тепловом механизме генерации инфракрасного излучения.

Обнаружена также корреляция инфракрасного излучения и излучения от HII-областей: положение всех без исключения максимумов карты на волне 60 мкм совпадают с яркими HII-областями. Столь хорошее совпадение может свидетельствовать о том, что значительный вклад в наблюдаемое инфракрасное излучение M 31 вносят либо сами звезды, либо их оболочки. Подтверждением служит и оценка размеров излучающих областей. Так, на волнах 12 и 25 мкм при линейном разрешении 900 пк вдоль большой оси галактики и 150 пк вдоль малой на картах видны неразрешенные образования. В нашей Галактике до недавнего времени неизвестны были области инфракрасного излучения размером порядка десятков — сотен парсек. Однако, как уже сообщалось в «Природе», наблюдения «ИРАС» привели к открытию пылевых оболочек у ряда близких к Солнцу звезд — Веги, Фомальгаута и нескольких других. Можно допустить, что неразрешенные детали на инфракрасных картах туманности Андромеды — это пылевые оболочки звезд. Если подобное предположение окажется верным, возможное количество планетных систем во Вселенной значительно возрастет.

Хорошее совпадение структурных деталей в M 31 дает и сравнение карт «ИРАС» с радиокартами на длинах волн 21 и 50 см, полученными на Вестерборкском радиотелескопе апертурного синтеза (Голландия). Этот результат подтверждает предсказываемую корреляцию в распределениях областей нейтрального (HI) и ионизованного (HII) водорода.

Поток излучения от M 31 в диапазоне 12—100 мкм аномально низкий. На волнах длиннее 12 мкм эта галактика излучает не более нескольких процентов от ее суммарного излучения в оптическом и ультрафиолетовом диапазонах. Для спиральных галактик, к которым относится M 31, это необычно мало. По-видимому, дальнейший анализ особенностей инфракрасного излучения туманности Андромеды позволит сделать важные выводы о морфологии и эволюции ближайшей к нам спиральной галактики.

Заметное место в программе «ИРАС» заняли обзоры, цель которых — изучение статистических свойств объектов различных типов. В частности, на волне 60 мкм зарегистрировано излучение от 86 галактик в высоких галактических широтах. Нижняя пороговая чувствительность этой «выборки» составляет 0,5 Ян. В среднем по охваченному обзором участку небесной сферы «ИРАС» зарегистрировал 1 галактику на площадке размерами в 4 квадратных градуса. Вероятнее всего, бóльшая часть галактик, если не все 86,— спиральные. Отношение их инфракрасной светимости к светимости в голубой части оптического диапазона колеблется в пределах 0,5—50. Инте-



Изображение центра Галактики в искусственных цветах: слева — на длине волны 60 мкм, справа — 100 мкм. На каждом из рисунков верхний фрагмент выделяет крупным планом собственно центральную область Галактики. Справа дан цветовой «клин», устанавливающий соответствие между цветом и интенсивностью инфракрасного излучения. Шкала интенсивности проградуирована в единицах 10^{-5} Вт · м$^{-2}$ · стер$^{-1}$. Левая (lower) и правая (upper) колонки цифр представляют собой соответственно нижнюю и верхнюю границы дискретных отсчетов интенсивности датчиками «ИРАС».

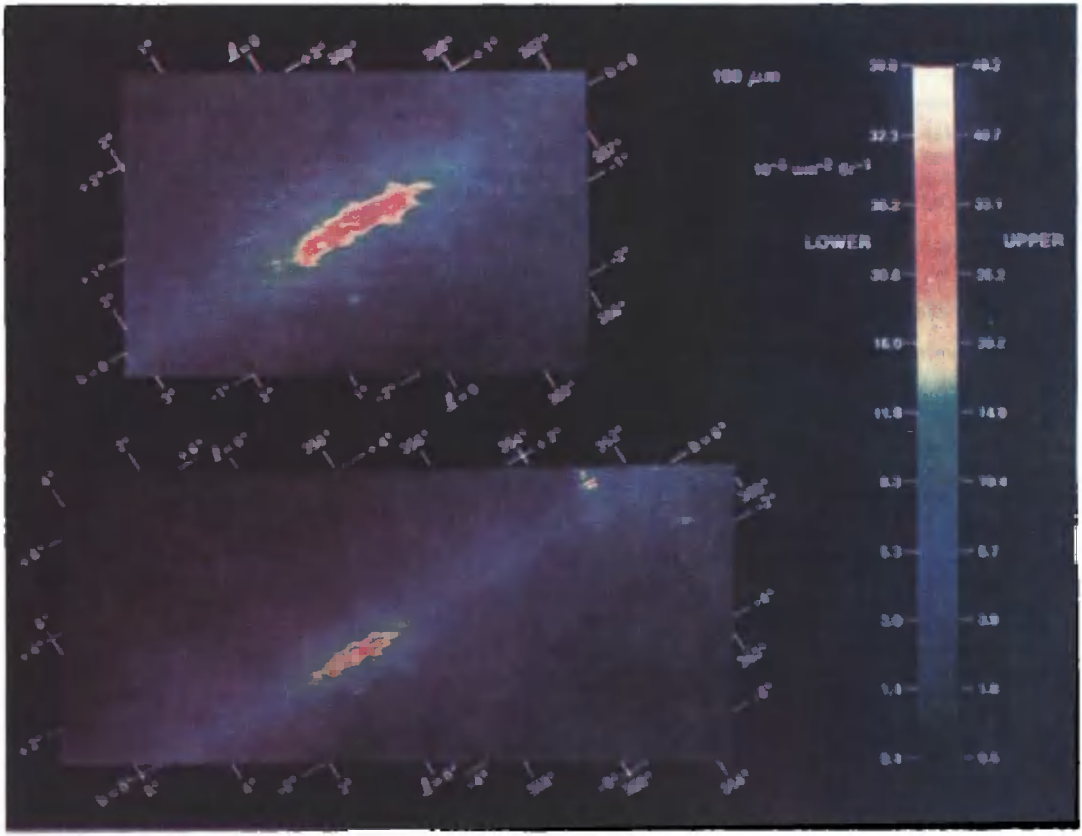
ресно отметить, что от 1/8 до 1/4 этих галактик представляют собой взаимодействующие галактики.

Не обойдены вниманием в программе «ИРАС» и объекты, находящиеся на очень далеких космологических расстояниях. К их числу относятся радиогалактика 3С 390.3 и 5 квазаров. Наблюдения радиогалактики дали неожиданный результат; оказалось, что в ее излучении имеется максимум вблизи волны 25 мкм и что бóльшая часть ее излучения сосредоточена в инфракрасном диапазоне. Теоретическая модель, наиболее согласующаяся с наблюдениями, предполагает, что излучение является тепловым, с эффективной температурой 180±30 К. Однако вопрос об источнике тепловой энергии пока остается открытым. Например, им может быть ультрафиолетовое излучение ядра или плазменный пучок, испускаемый ядром. Последнее предположение часто привлекается для объяснения природы удаленных компонентов радиогалактик и квазаров. Нельзя, впрочем, полностью исключить и нетепловую природу инфракрасного излучения 3С 390.3. В этом случае естественно ожидать, что излучение должно быть переменным с характерным временем изменения порядка нескольких месяцев. Для исследования такой переменности в программу «ИРАС» были включены соответствующие сеансы наблюдений. Сообщений об их результатах пока не поступило.

До полета «ИРАС» лишь два квазара наблюдались в диапазоне длин волн от 20 мкм до 1 мм; речь идет о ярких квазарах 3С 273 и 3С 345. Высокая чувствительность детекторов «ИРАС» позволила расширить этот список.

Феномен квазаров — едва ли не самая загадочная проблема астрофизики последних двадцати лет. Множество вопросов, не нашедших пока ответа, принесли наблюдения этих чрезвычайно удаленных источников. И среди них вопрос номер один — каков механизм выделения колоссальной энергии в квазарах?

К настоящему времени накоплены данные о большом количестве квазаров. Подавляющее большинство из них в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах излучают при-



мерно одинаковую (с точностью до порядка величины) энергию. Однако отношение радиосветимости к оптической светимости для разных квазаров может различаться в сто тысяч раз! По своей активности в радиодиапазоне квазары были условно разделены на два класса — «радиослабые» и «радиосильные». Неоднократно высказывалось мнение, что если мы поймем причину подобного разделения квазаров, то получим ключ к решению проблемы выделения в них энергии. Очень важно было бы проследить поведение «радиослабых» и «радиосильных» квазаров в области спектра, промежуточной между радио- и оптическим диапазонами. Вот почему в программу «ИРАС» были включены наблюдения трех «радиосильных» (3С 345, PKS 0537—441, PKS 0420—014) и двух «радиослабых» (PG 0838+ +770, PG 0906+484) квазаров.

Данные, полученные «ИРАС», свидетельствуют о слабом различии названных квазаров в диапазоне от 12 до 100 мкм. При этом в случае «радиосильных» квазаров экспериментальные точки плавно соединяют спектральную плотность излучения в радио- и оптическом диапазонах. Построенный таким образом спектр во всех диапазонах — от радио- до оптики — наилучшим образом соответствует синхротронному механизму выделения энергии.

Для «радиослабых» квазаров ситуация более сложная. В наблюдениях «ИРАС» явно зарегистрирован избыток инфракрасного излучения у этих объектов; по-видимому, его следует объяснить излучением фоновой галактики, на которую проецируется квазар. Такая модель согласуется с наблюдениями протяженных компонентов у ряда «радиослабых» квазаров на волнах от 1,2 до 2,2 мкм (вне диапазона «ИРАС») и соответствует гипотезе, согласно которой квазары представляют собой активные ядра галактик.

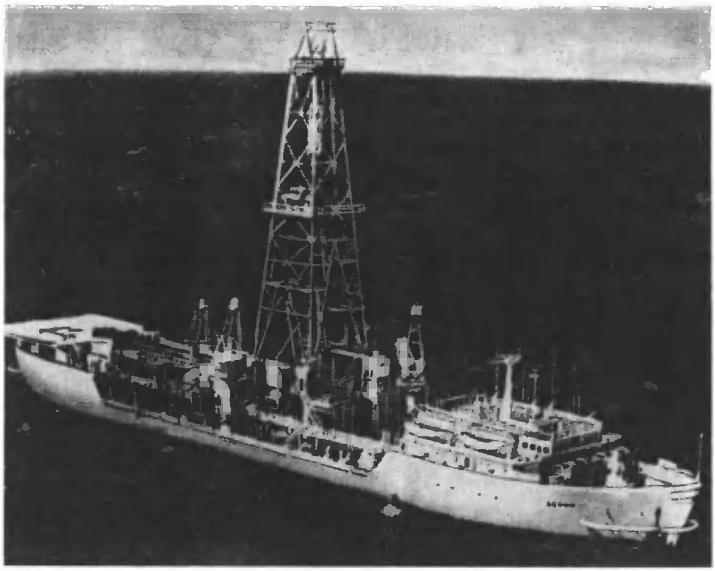
Для объяснения малой интенсивности излучения «радиослабых» квазаров в радиодиапазоне привлекались различные модели. В некоторых малый уровень радиопотока пытались связать с самопоглощением на длинных волнах, в других — с потерями за счет обратного комптоновского эффекта. Однако выбор наиболее согласованной модели требует дальнейших наблюдений. Не исключено, что наблюдения «ИРАС» внесут свою лепту в разгадку механизма излучения «радиослабых» квазаров и приблизят астрофизиков к пониманию природы феномена квазаров.

Полет «ИРАС», длившийся почти 11 месяцев, завершился в ноябре 1983 г. Получен огромный массив наблюдательного материала, полная обработка которого потребует немалого времени. В этой статье мы сообщили лишь о предварительных результатах. Дальнейший анализ данных, возможно, приведет к новым астрономическим открытиям.

Новый проект глубоководного бурения дна океана

В. Б. Курносов,
кандидат
геолого-минералогических наук

Геологический институт
ДВНЦ АН СССР
Владивосток



«Седко» — новое буровое судно для исследования дна океана.

В прошлом году судно «Гломар Челленджер» вернулось в порт Галвестон (США), из которого оно вышло 16 лет назад в свой первый рейс. Его 96-м рейсом завершился длительный этап, позволивший пробурить 600 глубоководных скважин в Тихом, Атлантическом и Индийском океанах. Успехи, достигнутые благодаря работе судна «Гломар Челленджер», позволяют отнести Международный проект океанического бурения, в котором длительное время участвовала наша страна, к одному из самых грандиозных проектов изучения состава, строения и развития земной коры океана.

Бурение скважин в океане, продолжавшееся многие годы, не только не исчерпало интерес к проведению этих работ, напротив, со всей очевидностью показало необходимость их развития. Поэтому задолго до последнего рейса судна «Гломар Челленджер» началась подготовка к следующему этапу бурения, рассчитанному прежде всего на достижение больших глубин и поэтому требующего более совершенного и мощного бурового судна, чем «Гломар Челленджер»[1]. Полагали, что им станет судно «Гломар Эксплорер», принадлежащее, как и «Гломар Челленджер», компании «Гломбал Марин» (США)[2]. Это судно обладает значительно лучшими техническими характеристиками для бурения скважин. Однако необходимые для переоборудования судна капиталовложения превысили финансовые возможности, предоставленные ученым. Сложилась кризисная ситуация, поставившая в тупик планы продолжения бурения в океане.

Но недавно она была благополучно разрешена. Кораблестроительная компания «Седко» (США) предложила использовать для бурения скважин принадлежащее ей и компании «Бритиш петролеум» судно «Седко-472». Этот вариант оказался более приемлемым в финансовом отношении и компромиссным в отношении технических возможностей бурения. Переоборудование судна «Седко» оценивается в 10 млн долл., а основные технические характеристики являются промежуточными между параметрами судов «Гломар Челленджер» и «Гломар Эксплорер».

«Седко» меньше по размерам и мощности, чем «Гломар Эксплорер», но основные эксплуатационные качества этих судов близки и, конечно же, «Седко» во многом превосходит судно «Гломар Челленджер». Так, на «Седко» имеется предохранительное устройство для блокирования возмож-

[1] Science, 1983, v. 219, № 4587, p. 942.

[2] «Гломар Эксплорер» — новое буровое судно.— Природа, 1983, № 4, с. 117; На смену «Гломару Челленджеру».— Природа, 1984, № 2, с. 117.

ных выбросов нефти, необходимое при бурении в нефтегазоносных пластах. Такое бурение с «Гломара Челленджера» не проводилось. Другое важное преимущество «Седко» по сравнению с «Гломаром Челленджером» — большая общая длина буровых труб. Она достигает 9000 м и позволяет бурить скважины на больших глубинах океана и проникать в дно глубже, чем это делалось раньше. И, наконец, на «Седко» в ближайшее время должна появиться техническая новинка — вертикальный трубопровод. Планируется, что его первоначальная длина составит 2000 м, а в дальнейшем будет увеличена до 3000 м. Трубопровод устанавливается от судна до дна, а колонна буровых труб будет вращаться внутри него. В результате появляется возможность бурить скважины непосредственно на выходах не перекрытых осадками магматических пород на дне, прежде недоступных для проникновения в них. Этот способ бурения в океане, не применявшийся ранее на больших глубинах, открывает благоприятные перспективы в изучении «ключевых районов», и прежде всего — осевых частей современных рифтовых зон.

Организация нового проекта глубоководного океанического бурения с судна «Седко» поручена Техасскому университету. В ближайшее время здесь начнется строительство административного здания Центра, кернохранилища, гостиницы. Главой проекта назначен В. Мерилл, директором — П. Рабинович, заместителем директора — Л. Гаррисон, научным руководителем — С. Гартнер. Общее число сотрудников Центра будет насчитывать 135 человек. Образованы следующие рабочие группы проекта: «Океаническая кора», «Тектоника», «Осадки и история океана», «Атлантический океан», «Индийский океан и Красное море», «Центральная и восточная части Тихого океана», «Западная часть Тихого океана», «Техника бурения».

Разработана программа научных исследований на ближайшие годы. Планируется начать бурить с нового судна «Седко» в октябре 1984 г. Параллельно с новым проектом океанического бурения еще два—три года будет существовать предыдущий, который завершится опубликованием последнего 96-го тома традиционных отчетов, так называемых голубых томов.

Сравнительная характеристика трех буровых судов

	«Гломар Челленджер»	«Седко-472»	«Гломар Эксплорер»
Длина, м	122	143	188
Водоизмещение, т	10 600	16 700	44 400
Мощность, кВт	7700	14 700	27 500
Длина буровых труб, м	7000	9000	10 000
Лабораторные площади, $м^2$	420	840	1760
Научный персонал, чел.	29	50	50
Эксплуатационная бюджетная смета, долл./день	5300	5300	5700

На совещании рабочей группы «Океаническая кора», проходившем с 24 по 26 августа 1983 г. в Галифаксе (Канада) в Далхаузском университете под руководством П. Робинсона, было составлено расписание предстоящих рейсов судна «Седко» до 1987 г. Первые шесть рейсов в основном утверждены, время и программа остальных еще будут рассматриваться дополнительно. После 18-месячного бурения в Атлантическом океане будут проведены четыре рейса в Тихом океане, а затем, на рубеже 1986—1987 гг., планируется проникнуть в дно моря Уэдделла вблизи Антарктиды.

Все запланированные рейсы представляют первостепенный интерес, но особенно важные результаты должно дать добуривание, не менее чем до глубины 2 км, скважины 504B в Коста-Риканском рифте. Эта скважина бурилась через толщу воды 4823 м в течение 69-го, 70-го и 83-го рейсов судна «Гломар Челленджер». В результате она достигла рекордной глубины 1350 м, проникнув в базальтовый слой на 1075,5 м. Эта скважина представляет чрезвычайный интерес для выяснения многих вопросов геологии, геохимии и геофизики океанической коры.

Среди проблем, которые предстоит решать на новом этапе глубоководного океанического бурения, выделены две главные. Это, во-первых, исследование процессов образования магмы и наращивания коры и, во-вторых, изучение конфигурации подводных гидротермальных систем, а также химических и динамических явлений, которые в них происходят. В решении этих проблем первоочередное значение имеет добуривание уже упомянутой скважины 504B, а также бурение скважин в осевых частях Срединно-Атлантического хребта и Восточно-Тихоокеанского поднятия. В том случае, если изготовление трубопровода задержится, будут рассмотрены другие районы, в которых возможно бурение со старой технологией. Для этого случая предложены перекрытые осадочным чехлом осевые части Восточно-Тихоокеанского поднятия в Калифорнийском заливе и хребта Хуан-де-Фука. Исследование этих двух хребтов даст возможность продолжить изучение магматических и гидротермальных процессов, а также условий накопления осадков.

кожеед коричниковый

зеленая падальная муха

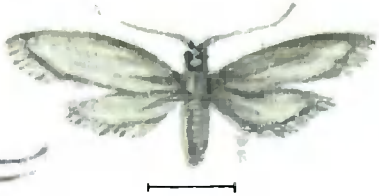
притворяшка-шелковистый

усач фиолетовый

таракан американский

сверчок домовый

огневка мучная



моль платяная

рогохвост большой

Отдельные представители городской энтомофауны. Около каждого насекомого приведен натуральный размер.

Насекомые в наших домах

М. В. Ниязова

Марина Владимировна Ниязова, энтомолог, заведует энтомологическим отделом Центральной контрольно-исследовательской лаборатории Дезинфекционной станции Главного управления здравоохранения г. Москвы. Научные интересы связаны с изучением фауны и биологии «городских» членистоногих, имеющих медицинское или хозяйственное значение.

Кто из жителей столицы и других крупных городов не знает о существовании рыжих домовых муравьев, от которых почти невозможно уберечь продукты. Эти мелкие насекомые порою заползают даже в бутылки, закрытые пробками. Вряд ли можно найти хозяйку, которой бы не попадались в руки темные маленькие продолговатые жучки с неприятным запахом — малые мучные хрущаки. Почти в каждой квартире есть меховые или шерстяные вещи, поврежденные молью или кожеедами. Можно привести еще массу примеров, показывающих, как часто мы в быту сталкиваемся с теми или иными представителями типа членистоногих и насколько велико отрицательное значение отдельных их видов. Речь идет, конечно, лишь о синантропных видах, т. е. способных существовать (в данном климате) исключительно рядом с человеком в его жилище или использующих человека как хозяина-прокормителя.

На протяжении многих столетий человечество пыталось бороться с вредными насекомыми и клещами, одновременно изучая особенности биологии столь нежелательных соседей. Ведь без знания образа жизни и сроков развития вредителей невозможно найти эффективные средства борьбы с ними.

Так, например, всестороннее изучение биологии малярийных комаров помогло добиться значительных успехов в борьбе с малярией. Изучение биологии иксодовых клещей — переносчиков вирусов клещевого весенне-летнего энцефалита — позволило снизить число заболевающих энцефалитом. Благодаря санитарно-профилактическим мероприятиям, основанным на биологических особенностях мух, во многих городах нашей страны численность отдельных видов этих насекомых сократилась.

Бесспорно, мы добились резкого сокращения численности отдельных вредителей, но видовое разнообразие членистоногих, имеющих отрицательное значение, продолжает расти. И это явление легко объяснить: увеличивается товарооборот между странами, осваиваются и заселяются новые территории, возрастает количество транспортных перевозок, расширяются границы городов с их многоэтажной застройкой, увеличивается устойчивость самих членистоногих к инсектицидам и т. д. Все эти факторы не могут не сказаться на обогащении фауны членистоногих, сопутствующих человеку.

Сравнительное изучение фауны и популяционной экологии насекомых больших городов на протяжении длительного времени представляет большой теоретический и практический интерес. В последнее время все чаще городскую энтомологию рассматривают как самостоятельную дис-

циплину. Об этом направлении и пойдет речь в данной статье. Мы расскажем о работе Центральной контрольно-исследовательской лаборатории Дезинфекционной станции Главного управления здравоохранения Мосгорисполкома, существующей с 1940 г. Основная задача этой лаборатории — контроль за проведением в столице дезинфекционных мероприятий и анализ их эффективности. Кроме того, сотрудники лаборатории разрабатывают ряд научно-практических тем, ведут педагогическую работу в системе повышения квалификации дезинфекционистов, оказывают консультативно-методическую помощь населению и организациям города и т. д. В лаборатории разрабатывают новые рецептуры и препараты для уничтожения синантропных насекомых и грызунов, имеющих медицинское значение, испытывают новые инсектициды и ратициды, ведут постоянное наблюдение за фауной грызунов и членистоногих, встречающихся внутри помещений столицы. По данным энтомологов лаборатории, в отапливаемых помещениях города в настоящее время существует около 100 видов членистоногих, относящихся к 83 родам, 52 семействам, 19 отрядам и 4 классам; среди них есть и космополиты, и аборигены, и эмигранты.

СИНАНТРОПНЫЕ НАСЕКОМЫЕ

Наиболее обычные и древние соседи жителей городов и сел — **тараканы.** Естественно, именно с них и начиналось изучение энтомофауны городов. По сей день эти насекомые занимают первое место по численности и разнообразию среди других синантропных видов. В настоящее время в домах Москвы можно встретить около 8—10 видов тараканов, правда, лишь 5 из них размножаются в условиях нашего города. По-прежнему больше всего рыжих тараканов, или прусаков (Blattella germanica); несколько реже встречаются черные тараканы (Blatta orientalis). За последние 10 лет в столице довольно широко расселились американские тараканы (Periplaneta americana): крупные популяции этих насекомых можно обнаружить сейчас в нескольких районах города. Единичные особи этого вида изредка находили в Москве и Ленинграде начиная с конца прошлого века, но объясняли такие находки случайными завозами из других стран. А сейчас американские тараканы так сильно размножились в столице, что зачастую вытесняют с насиженных мест прусаков. Теперь для работников дезслужбы отдельных микрорайонов города обработка объектов против американских тараканов стала обычным делом. Еще один экзотический вид тараканов — Nauphoeta cinerea, или пепельный, впервые был обнаружен в 1971 г. в Москве. Затем их находили в жилых квартирах в 1980 и 1982 гг. Завозы этих тараканов в города Советского Союза отмечали и прежде, но полагали, что они не смогут адаптироваться в условиях умеренного климата[1]. Однако сейчас есть все основания утверждать, что эти насекомые в Москве свободно размножаются. И, наконец, в 1983 г. впервые в СССР в одном из многоэтажных московских домов была обнаружена новая популяция тараканов Supella supellectilium, внешне напоминающих рыжих тараканов. Этот вид, свободно живущий в тропиках и субтропиках, был зарегистрирован в Стамбуле, Тегеране и Париже. Сообщений о находках его в более северных широтах не было. Давать какие-либо прогнозы на будущее в отношении адаптации этого вида к условиям нашего климата пока трудно, но в данном доме эти тараканы чувствуют себя превосходно.

Кроме пяти названных видов, в столицу иногда случайно попадают и другие представители отряда тараканових, которые в силу своих биологических особенностей не могут приспособиться к новым условиям.

Проблема уничтожения тараканов возникла давно, но до сих пор ее еще не удавалось решить ни в одной стране. Мало того, в крупных городах растет видовое разнообразие тараканов и их устойчивость к инсектицидам. Да что греха таить, часто мы сами способствуем увеличению в городах численности тараканов: многочисленные строительные дефекты в виде щелей; удобные для передвижения тараканов вентиляционные, водопроводные, электро- и тепловые коммуникации; недостатки в проектировке и эксплуатации мусорокамер и мусоропроводов и пр. — все эти причины создают благоприятные условия для заселения тараканами многоэтажных зданий.

Оставляет желать лучшего и организация дезслужбы, которая сегодня в состоянии обрабатывать лишь служебные поме-

[1] Бей-Биенко Г. Я. Насекомые — тараканові.— В кн.: Фауна СССР. М.— Л., 1950.

щения, часто находящиеся в многоэтажных жилых зданиях. Истребление же тараканов в квартирах возложено на само население. Горожане по разным причинам не всегда активно борются с нежелательными соседями. Значит, главное условие положительного эффекта дезинсекции в многоэтажном здании — одновременная обработка всех помещений — почти никогда не выполняется. Да и рекламируются инсектициды, предназначенные для населения, недостаточно.

Иногда приходится заниматься и уничтожением домовых сверчков, которые, подобно тараканам, могут переносить возбудителей ряда инфекций и загрязнять пищевые продукты.

Несколько лучше обстоит положение с **рыжими домовыми муравьями.** Еще на рубеже XIX и XX вв. в Москве и некоторых других городах России появление рыжего домового, или фараонова, муравья (Monomorium pharaonis) объясняли случайным завозом в страну экзотического теплолюбивого вида. Сейчас это насекомое широко распространено в Европейской части нашей страны (кроме районов Крайнего Севера), на Кавказе и Дальнем Востоке. В климатических условиях нашей страны фараоновы муравьи встречаются лишь в теплых домах, тогда как в субтропиках они живут в открытой природе. При появлении этих насекомых в жилых помещениях необходима дезинсекция всего дома. Как правило, регулярная и одновременная обработка всех квартир силами дезслужбы через год полностью освобождает дом от муравьев.

Не исключено распространение в городах умеренного климата и других теплолюбивых видов муравьев — Nuroponera eduardi, обитающих в странах Средиземноморья и на Черноморском побережье Кавказа, и Lasius alienus, живущих в более южных районах[2]. В последнее время в зданиях столицы этих муравьев находят все чаще.

Нет на нашей планете уголка более или менее обжитого, за исключением Крайнего Севера, где нельзя было бы встретить **комнатную муху.** Этот облигатно-синантропный вид, как и малую комнатную муху, чаще других представителей отряда двукрылых можно увидеть внутри помещений. Комнатная муха хорошо себя чувствует на предприятиях общественного питания даже в зимнее время, если находит там подходящие условия для размножения. Помимо бытовых отходов субстратом для развития личинок малой комнатной мухи служит, вероятно, помет голубей на чердаках городских зданий. Большинство других синантропных мух в городах живет в основном вне домов и в помещения залетает редко.

Тараканы, мухи и домовые сверчки в жилище человека питаются самыми разнообразными пищевыми продуктами и материалами. Несколько видов синантропных членистоногих (пауки из подотряда Araneomorpha) ведут внутри помещений хищнический образ жизни. Есть среди обитателей жилища человека и кровососы. Прежде всего это постельные клопы — типичные паразиты человека, численность которых сейчас в столице стала довольно низкой.

В последние десятилетия в подвалах городских домов встречаются кошачьи блохи, которые охотно нападают и на людей. К сожалению, все еще живут в столице такие кровососущие паразиты человека, как головная, платяная и лобковая вошь.

Не удается до сих пор уничтожить городские популяции **кровососущих комаров** Culex pipiens molestus. Примечательно, что комары этого вида, обитающие в сельской местности, нападают преимущественно на птиц, городские же популяции их досаждают людям. Особенно много комаров в жилых районах, расположенных на окраине города или вблизи лесопарков, имеющих водоемы. Росту городской популяции комаров в значительной мере способствуют подвальные помещения, где часто скапливается вода. В таких условиях комары дают потомство. Жители столицы нередко страдают от укусов комаров этого вида даже в квартирах верхних этажей.

Распространению в городе комаров способствует целый ряд факторов. Во-первых, приближение жилых массивов к сель-

[2] Трегубов А. Н., Евреинова Л. И., Брикман Л. И., Федер М. Л. К экологии муравьев, встречающихся в жилых зданиях, и борьба с ними.— В сб.: Труды ЦНИДИ. М., 1954, № 8, с. 181.

ской местности облегчает контакт природной популяции комаров с новыми условиями обитания и иными источниками питания. Во-вторых, многоэтажные дома с подвалами, где скапливается вода, обеспечивают прекрасные условия для размножения и существования комаров. В-третьих, экологическая пластичность вида, неприхотливость его, способность давать потомство даже в сильно загрязненных маленьких временных водоемах (лужах с примесью канализационных вод, консервных банках с водой, стоков из бань и т. д.), быстрый рост устойчивости к инсектицидам, создают определенные трудности в борьбе с ними.

ТЕПЛОЛЮБИВЫЕ НАСЕКОМЫЕ — СОСЕДИ ГОРОЖАН

Кроме облигатно-синантропных и факультативно-синантропных членистоногих, в состав городской фауны входят теплолюбивые повсеместно распространенные или завезенные к нам из тропиков и субтропиков виды, способные жить лишь в отапливаемых помещениях. Подавляющее большинство представителей этой группы питается самыми разнообразными органическими субстратами как растительного, так и животного происхождения. Их можно встретить на продовольственных складах, в хлебопекарнях, музеях, библиотеках, жилых квартирах и т. д. Наиболее часто в городских помещениях встречаются **хлебные точильщики.** Эти маленькие коричневые жучки едят все кроме железа: сухари, муку, макаронные изделия, крупы, сухофрукты, сухие лекарственные травы, коллекции насекомых, бумагу, изделия из древесины мягких пород и т. д. Второй представитель того же семейства — табачный жук — более разборчив в еде (он предпочитает лекарственные травы, табак, энтомологические коллекции, книги и т. п.) и, видимо, поэтому встречается несколько реже. Почти так же широко, как и хлебный точильщик, распространен в городских домах малый мучной хрущак, питающийся в основном мукой, зернопродуктами, макаронными изделиями[3]. В ту же группу можно включить и кожееда Смирнова (Attagenus smirnovi), завезенного к нам из Кении около 20 лет назад. В настоящее время

этот вид кожеедов, повреждающий шерстяные, меховые и кожаные изделия в квартирах, на складах и меховых фабриках, наиболее обычен в Москве.

ЧЛЕНИСТОНОГИЕ ВНУТРИ И ВНЕ ПОМЕЩЕНИЙ

Большая часть остальных видов членистоногих, живущих в городских домах, также завезена в СССР из других стран. Но в силу более высокой экологической пластичности представители этих видов могут встречаться и в открытой природе в южных районах нашей страны, а некоторые — в умеренном поясе. Подавляющее большинство членистоногих этой группы питается разнообразными субстратами растительного происхождения или гниющими органическими остатками и лишь немногие имеют иную пищевую специализацию.

Так, из класса паукообразных чаще всего рядом с нами живут **тироглифоидные клещи.** Это в большинстве своем микроскопические мелкие виды, питающиеся зерном и иными продовольственными запасами. Наиболее типичный представитель этой группы, удлиненный клещ (Tyraphagus noxius) в природе живет в сене, соломе, норах грызунов, а в квартирах он предпочитает всевозможные бакалейные продукты и кондитерские изделия. Порою этих клещей бывает так много, что они расползаются почти по всей кухонной утвари и тогда напоминают налет светлой пыли. Довольно часто в жилище человека встречаются и клещи из семейства Pyroglyphidae. Несколько представителей этого семейства питаются продуктами шелушения эпидермиса и входят в состав бытовой пыли. именно они зачастую вызывают у человека аллергические астматические заболевания[4].

Среди паукообразных, обитающих рядом с нами, есть виды, приносящие и несомненную пользу. Это **лжескорпионы** (Pseudoscorpionida), мелкие устрашающего вида членистоногие, вооруженные парой клешней. Живя среди различных пищевых

[3] Румянцева П. Д. Биология вредителей хлебных запасов. М., 1959.

[4] Дубинина Е. В., Плетнев Б. Д. Методы обнаружения и определения аллергенных клещей в домашней пыли. Л., 1977.

запасов, в книгах, щелях, они уничтожают всевозможных мелких клещей, сеноедов и первичнобескрылых насекомых из отряда ногохвосток и щетинохвосток (Collembola, Thysanura). Коллемболы — мелкие насекомые — питаются разлагающимися органическими остатками. Их часто можно заметить на поверхности почвы в горшках с комнатными растениями. Более крупные представители второго отряда — чешуйницы обыкновенные (Lepisma saccharinus) — частые гости в жилых квартирах, продовольственных магазинах, библиотеках и других объектах. Они могут повреждать мучные изделия, крахмал, бумагу, переплеты книг, коллекции насекомых, ткани.

Кроме коллембол внутри помещений на разлагающихся остатках растительного происхождения, в частности в цветочных горшках могут развиваться, порою достигая высокой численности, мелкие мушки и комарики из семейств Drosophilidae, Chloropidae, Scatopsidae, Sphaeroceridae, Piophilidae, Phoridae, Lycoriidae.

Подавляющее большинство членистоногих, живущих в домах и в природе и питающихся самыми разнообразными субстратами растительного, реже животного происхождения, относится к отряду жесткокрылых, или жуков. Прочно обосновался на продовольственных складах, в магазинах, квартирах черный малый хрущак — небольшой продолговатый жук, издающий резкий характерный запах, подобно малому мучному хрущаку.

Почти так же часто среди бакалейных запасов обитают суринамские и рыжие мукоеды. К сожалению, всех этих вредителей продовольственных запасов мы нередко приносим в свой дом из магазинов вместе с крупой, мукой и сухофруктами.

Пожалуй, среди жуков, населяющих жилые и служебные помещения, больше всего представителей семейства **кожеедов** (Dermestidae): их в Москве и Московской области насчитывается 17 видов, относящихся к 6 родам[5]. При сопоставлении числа находок кожеедов по годам напрашивается вывод о постепенном повышении численности и распространении в городе этих насекомых. Интересно, что в период с 1969 по 1975 г. резко возросла численность кожеедов в жилых помещениях.

[5] Жантиев Р. Д. Жуки-кожееды (сем. Dermestidae фауны СССР). М., 1976.

Кроме жесткокрылых значительный ущерб продовольственным запасам, лекарственному сырью растительного происхождения, а также всевозможным изделиям из шерсти и меха наносят некоторые представители из отряда чешуекрылых, или бабочек. Наиболее часто в помещениях встречаются моли, личинки которых питаются кератиносодержащими веществами (шерстью, кожей, пером и т. п.). Сами бабочки ничего не едят. Иногда в квартирах и на продовольственных складах появляется амбарная моль (Tinea granella), повреждающая зерно и продукты его переработки, а также сухие грибы, кондитерские изделия, лекарственные травы, энтомологические коллекции, сухофрукты.

Но значительно чаще на сухофруктах и кондитерских изделиях развивается южная **амбарная огневка** (Plodia interpunctella). Эту маленькую бабочку, напоминающую моль, но с более широкими и темноокрашенными в вершинной части крыльями, мы замечаем обычно в своих кухнях. В большинстве случаев все принимают ее за моль и начинают в тревоге просматривать меховые и шерстяные вещи, а надо бы проверить в первую очередь бакалейные запасы или лекарственные травы и ликвидировать зараженные.

Кроме сапрофагов и членистоногих, питающихся разнообразными субстратами растительного и животного происхождения, иногда в помещениях города встречаются паразитирующие на них виды — энтомофаги. Почти все они относятся к необыкновенно богатому видами семейству Halcidae из отряда перепончатокрылых. Однажды в одном из зданий столицы удалось обнаружить довольно большую популяцию хальцид, паразитирующих на платяной моли.

ВРЕМЕННЫЕ СОСЕДИ ГОРОЖАН

Последняя группа членистоногих, на которой следует остановиться, — это представители местной фауны, обитающие в открытой природе. Большинство видов из этой группы зимует в состоянии диапаузы, поэтому в теплых домах они не могут существовать длительное время.

Как правило, местные виды насекомых имеют лишь временную прописку в городских строениях, попадая туда на той или иной фазе своего развития. Так, изредка вместе с древесными строитель-

ными материалами мы заносим в дома вредителей древесины: чаще всего это личинки жуков из семейства усачей (плоский фиолетовый усач — Callidium violaceum, черный сосновый усач — Monochamus galloprovincialis и др.) или личинки рогохвостов из отряда перепончатокрылых. Обычно усачи и рогохвосты попадают в помещение в фазе личинки, развитие которой может длиться несколько лет. Взрослые особи покидают помещения в поисках мест, подходящих для новых яйцекладок и дополнительного питания на живых деревьях. Иногда о зараженности древесных материалов можно узнать лишь при появлении летного отверстия после выхода из куколки взрослого насекомого.

В последние годы летом в окна жилых домов и служебных помещений все чаще залетает тополевая моль (Lithocolletis populifoliella). Этих мелких бабочек особенно много в тех районах города, где растут старые тополя. В 1959—1960 гг. во время вспышки численности непарного шелкопряда (Linahtria dispar) в дома попадали даже их личинки. Примерно в то же время и повторно в 1984 г. в квартирах верхних этажей были найдены кровососки стрижевые (Grataerhina pallida). Источником нежелательных гостей в наших домах часто служат чердачные помещения, где обитают голуби. Именно отсюда заползают на последние этажи гамазовые клещи (Dermanysus gallinae). Иногда эти клещи поселяются в клетках с комнатными птицами.

Летом 1981—1982 гг. дважды были найдены в квартирах личинки мух Lucilia sericata, проникшие в помещения через отверстия в вентиляционных решетках. Возможно, причиной этого был выплод мух в голубиных трупах на чердаках. Случайно порою попадают в помещения многоножки, мокрицы, некоторые виды уховерток, ос, клопов из семейств Myodochidae, Miridae, другие членистоногие и, наконец, довольно часто некоторые виды насекомых залетают внутрь помещений в поисках мест для зимовки.

Жуки, обитающие внутри помещений и в открытой природе

Семейство	Вид и размеры, мм	Повреждаемые субстраты
Капюшонники [Bostychidae]	Зерновый точильщик [Rhizopertha dominica] 2,5—3	Зерна злаков, гречиха, крупы
Точильщики [Anobiidae]	Мебельный [Anobium punctatum] 2—5	Поделочная древесина лиственных пород и сосны, мебель, домашняя утварь из дерева, элементы деревянных строений
	Домовый [Anobium pertinax] 5—7	Элементы деревянных конструкций, столбы, заборы. Предпочитают старую древесину хвойных
Чернотелки [Tenebrionidae]	Черный малый хрущак [Tribolium destructor] 5,1—5,5	Мука, крупа, горох, клей, крахмал, энтомологические коллекции, трикотажные изделия, капрон
	Большой мучной хрущак [Tenebrio molitor] 12—16	Продукты размола зерна (мука, крупа, отруби), зерно, сухари, макаронные изделия, сушеное мясо, высохшие трупы насекомых и мелких млекопитающих, подгнившая древесина построек
	Медляк кукурузный [Pedinus femoralis] 7,5—9	Зерно и зернопродукты
	Медляк подвальный [Blaps mortisaga] 20—30	Гнющие скопления зерна, зернопродуктов и муки
	Хрущак вонючий [Alphitobius piceus] 5—6	

Семейство	Вид и размеры, мм	Повреждаемые субстраты
Плоскотелки [Cucujidae]	**Рыжий мукоед** [Laemophloeus testacus] **1,5—2,0**	Мука, крупа, поврежденные зерна злаков, загнивающие зерновые запасы
	Суринамский мукоед [Oryzaephilis surinamensis] **3—3,5**	Хлебные запасы, кондитерские изделия, сухофрукты, крупа повышенной влажности
Зерновки	**Фасолевая зерновка** [Acanthoscelides obtectus] **3,5—4**	Семена бобовых культур
	Гороховая зерновка [Bruchus pisorum] **4—5**	Семена гороха
Долгоносики	**Амбарный долгоносик** [Calandra granaria] **2—4**	Зерна злаковых культур, макаронные изделия, перловая и гречневая крупы
	Рисовый долгоносик [Calandra oryzae] **2—3**	Семена злаков
Притворяшки [Ptinidae]	**Притворяшка-вор** [Ptinus fur] **2,0—4,5**	Любое сырье животного или растительного происхождения (зерно, зернопродукты, энтомологические коллекции, пищевые продукты, кожи и т. д.)
	Шаровидный притворяшка [Gibbium psylloides] **2,5—3**	
	Шелковистый притворяшка [Niptus holobeucus] **4,0—4,5**	
Кожееды [Dermestidae]	**Кожеед норичниковый** [Anthrenus scorpulariae] **3,0—4,5**	Кожа, шерсть, перо, шерстяные, шелковые, синтетические ткани, зоологические коллекции
	Кожеед ковровый [Attagenus megatoma] **3—4**	Всевозможные продукты животного и растительного происхождения
	Кожеед Фриша [Dermestes frischi] **6—10**	
	Ветчинный кожеед [Dermestes lardarius] **7—10**	Зернопродукты, кондитерские и макаронные изделия, мясные и рыбные продукты, энтомопогические коллекции, яйца и куколки тутового шелкопряда
	Dermestes ater [cadaverinus] **7—9**	Кожевенное сырье, меха, копра, коконы тутового шелкопряда
Скрытники [Lathridiidae]	Lathridius bergrothi **2—2,2**	Плесневые грибы
Блестянки [Nitidulidae]	Phizophagus sp.	Подгнивающая древесина

Синантропные и факультативно-синантропные насекомые — обитатели отапливаемых помещений

Отряд	Вид и семейство, размеры, мм	Повреждаемые субстраты
Тараканowые [Blattoptera]	**Рыжий таракан** [Blattella germanica, Blattellidae] **10,5—13,3**	**Пищевые продукты, экскременты людей и животных, трупы животных, кожа, шерсть, шелк, хлопчатобумажные ткани, бумага, клей и т. д.**
Прямокрылые [Orthoptera]	**Сверчок домовый** [Gryllus domesticus, Grillidae] **16—20**	**Пищевые продукты, шелковые, шерстяные и хлопчатобумажные ткани**
Двукрылые [Diptera]	**Комнатная муха** [Musca domestica, Muscidae] **7—9** **Малая комнатная муха** [Fannia canicularis, Muscidae] **4—7**	**Пищевые продукты, бытовые отбросы, экскременты людей, домашних животных и т. д.**
Полужестко-крылые [Hemiptera]	**Постельный клоп** [Cimex lectularius, Cimicidae] **4,3—6,5**	**Кровь человека, некоторых млекопитающих и птиц**
Блохи [Siphonaptera]	**Кошачья блоха** [Ctenocephalides felis felis, Pulicidae] **1,2—2**	**Кровь кошек, собак, синантропных грызунов и человека**
Вши [Siphunculata]	**Вши из семейства** Pediculidae: **платяная** [Pediculus humanus corporis] **2,1—4,7** **головная** [Pediculus humanus capitis] **2—4** **лобковая** [Phthirus pubis] **1—2**	**Кровь человека**
Двукрылые [Diptera]	**Комар обыкновенный** [Culex pipiens molestus] **5—6**	**Кровь человека**

Теплолюбивые насекомые городских помещений

Вид и размеры, мм	Повреждаемые субстраты
Книжная вошь [Liposcelis divinatorius] **и другие виды сеноедов** [Psocoptera, Trogiidae] **1,0—1,1**	**Энтомологические коллекции, гербарии, книги, ковры, обивка мягкой мебели, лекарственные травы, зернопродукты, бакалейные запасы**
Хлебный точильщик [Stegobium paniceum]; Coleoptera, Anobiidae **2—3** **Табачный жук** [Lasioderma serricorne], Coleoptera, Anobiidae **2—2,5**	**Бакалейные запасы, сухари, кондитерские изделия, лекарственные травы, коллекции насекомых, кожа, шерсть, бумага, книги, изделия из древесины мягких пород и плетеные изделия из ивовых прутьев** **Книги, мебель, копра, энтомологические коллекции, лекарственные травы, табак и т. д.**
Малый мучной хрущак [Tribolium confusum]; Coleoptera, Tenebrionidae **3—4**	**Мука грубого помола, отруби, хлебные запасы, крупы, сухие фрукты и овощи, лекарственные травы, энтомологические коллекции, крахмал и др.**

Бабочки, обитающие внутри и вне помещений

Семейство	Вид и размеры, мм	Повреждаемые субстраты
Настоящие моли [Tineidae]	**Платяная моль** [Tineola biselliella] **8,5—12**	**Кератинсодержащие вещества и изделия из них (перо, шерсть, кожа, рог, шерстяные и комбинированные ткани, зоологические коллекции), картон, хлопчатобумажные и льняные ткани, синтетические ткани**
	Ковровая моль [Trichophaga tapetzella] **13—16**	
	Шубная моль [Tinea pellionella] **10—17**	
	Амбарная (зерновая моль) [Tinea granella] **9—15,5**	**Зерно и продукты его переработки, сухие грибы, мучной клейстер, макаронные изделия, сухари, сушеные фрукты и овощи, кондитерские изделия, лекарственные травы, энтомологические коллекции и т. д.**
Огневки [Pyralidae]	**Южная амбарная огневка** [Plodia interpunctella] **13—20**	»—
	Мельничная огневка [Ephestia kuhniella] **20—22,5**	
	Мучная огневка [Pyralis farinalis] **18—30**	

Здесь перечислено много видов членистоногих, принадлежащих к самым различным группам как в систематическом, так и в биологическом отношении. Различна также и степень контакта этих членистоногих с человеком, неравноценно их хозяйственное и медицинское значение. Соседство одних видов безразлично для нас, другие могут иметь отрицательное значение, а третьи (энтомофаги) могли бы быть помощниками в борьбе с нашими врагами. Именно поэтому энтомологи в последние годы все больше внимания уделяют разработке биологических методов уничтожения вредных членистоногих, что особенно важно, так как при таком подходе не происходит химического загрязнения среды.

Все это приводит к выводу о необходимости дальнейшего изучения, инвентаризации и контроля энтомофауны города, без чего невозможна правильная и своевременная разработка соответствующих дезинсекционных мероприятий. Но подход здесь должен быть разумным. Одни только истребительные меры (применение различных ядов) недопустимы прежде всего с позиций охраны внешней среды и здоровья людей. Кроме того, эти меры дают лишь временный эффект. Необходимо сосредоточить внимание работников различных ведомств (строительных, коммунальных и т. д.) на создание условий, препятствующих развитию вредных членистоногих в городских строениях. Прежде всего большое внимание следует уделить качеству строительства и содержанию подвальных помещений. Нельзя допускать наличия земляных полов, нужен строгий контроль за состоянием водопроводных участков коммуникационной сети и чистотой подвальных помещений. Соблюдение этих правил поможет избавиться от блох и комаров. Необходимо пересмотреть проектировку чердачных помещений, в которых из-за гнезд голубей создаются благоприятные условия для размножения кожеедов и гамазовых клещей; проектировку вертикальных шахт с тепловыми и другими коммуникациями, способствующими миграции многих видов насекомых, и в первую очередь тараканов.

Для правильного подбора и планирования мер, направленных на сокращение численности и уничтожение вредных членистоногих, соседствующих с человеком в помещениях города, нужно дальнейшее изучение особенностей их биологии и экологии. Поэтому городская энтомология должна завоевывать все большие права, и ее основы должны быть непосредственными элементами технологии строительства и эксплуатации жилых и производственных зданий городов.

ИЗЛУЧЕНИЕ ВАВИЛОВА — ЧЕРЕНКОВА: 50 ЛЕТ ОТКРЫТИЯ

Судьба открытий складывается по-разному. Одни из них быстро завоевывают всеобщее признание и становятся неотъемлемой составной частью той огромной и стройной системы научных знаний, которая создана предшественниками. Другие же долго и трудно пробивают себе дорогу к умам современников и в полной мере оцениваются только последующими поколениями. В этом номере «Природы» читателям предоставляется возможность поближе познакомиться с судьбой одного из крупнейших открытий советских ученых, сделанного пятьдесят лет назад. Сегодня это явление известно во всем мире как излучение Вавилова — Черенкова. В 1958 г. И. Е. Тамм, И. М. Франк и П. А. Черенков за открытие и объяснение этого эффекта первыми из советских физиков были удостоены Нобелевской премии (к сожалению, по положению ее не могли присудить инициатору и руководителю исследований — С. И. Вавилову, которого к тому времени уже не было в живых). Пожалуй, без особого преувеличения можно сказать, что в наши дни представление об этом излучении так же, как о теории относительности или о сверхпроводимости, хотя бы в общей форме должен иметь каждый образованный человек.

Современники же открытие поначалу не просто не приняли, а даже пытались «закрыть» — настолько оно, казалось, «противоречило» основополагающим физическим представлениям, в том числе теории относительности. (В этой связи, может быть, уместно вспомнить о том, что саму теорию относительности тоже упорно отвергали как противоречащую «здравому смыслу».) Даже самые выдающиеся физики того времени склонялись к тому, чтобы объявить уже подробно изученное явление несуществующим, и, вторя небезызвестному изречению, заклинали «не верить глазам своим». Не случайно, по-видимому, в своей лекции, прочитанной в Стокгольме 11 декабря 1958 г. при вручении Нобелевской премии, И. Е. Тамм счел нужным особо выделить именно методологическое, философское значение открытия: «...механизм излучения чрезвычайно прост. Само это явление могло быть легко предсказано на основе классической электродинамики за много десятилетий до того, как оно было фактически обнаружено. Почему же это открытие столь запоздало! Мне кажется, что мы имеем здесь дело с поучительным примером отнюдь не редкой в науке ситуации, когда научный прогресс тормозится некритическим применением правильных физических принципов к явлениям, выходящим за пределы применимости этих принципов. В течение многих десятков лет всех молодых физиков учили, что свет (и электромагнитные волны вообще) может излучаться только при неравномерном движении электрических зарядов. При доказательстве этой теоремы явно или неявно использовался тот факт, что теория относительности не допускает движений со сверхсветовой скоростью, согласно этой теории, никакое материальное тело не в состоянии даже достичь скорости света. Тем не менее в течение долгого времени эта теорема считалась справедливой без всяких оговорок».

В подборке материалов, предлагаемой вниманию читателей, речь идет главным образом об истории открытия эффекта Вавилова — Черенкова. Этой теме посвящены интервью, данное академиком П. А. Черенковым корреспонденту нашего журнала Ю. Н. Елдышеву, и воспоминания академика И. М. Франка. Неудивительно, что эти материалы в отдельных местах очень схожи — ведь двое всемирно известных ученых делятся с читателями своими воспоминаниями о наиболее важных, решающих этапах той общей большой работы, которая в итоге привела к одному из выдающихся достижений молодой советской науки.

В заключающей подборку статье Б. М. Болотовского обсуждается природа и применение излучения заряженных частиц, движущихся в среде со сверхсветовой скоростью, и показано, что эффект Вавилова — Черенкова «породил», по сути дела, новое направление в современной физике.

От люминесценции к новому свечению

Павел Алексеевич Черенков, академик, заведующий лабораторией фотомезонных процессов Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР. Основные научные результаты относятся к физической оптике, ядерной физике, физике космических лучей, ускорительной технике. Лауреат Государственных премий СССР (1946, 1952, 1977) и Нобелевской премии (1958). Награжден Золотой медалью Чехословацкой академии наук «За заслуги перед наукой и человечеством».
В этом году П. А. Черенкову исполнилось 80 лет. За большие заслуги в развитии физической науки ему присвоено звание Героя Социалистического Труда. Редакционная коллегия и редакция «Природы» сердечно поздравляют Павла Алексеевича и желают ему доброго здоровья и больших творческих успехов.

Корреспондент. Павел Алексеевич, как возник интерес к изучению люминесценции растворов солей урана под действием γ-лучей радия, которое привело к открытию никому не известного до этого явления — излучения Вавилова — Черенкова? Было ли это обычным стремлением расширить частотный диапазон воздействующего на исследуемый объект излучения, или существовали какие-то дополнительные соображения, нацеленные на поиски принципиально новых эффектов? Что, с Вашей точки зрения, оказалось самым трудным в работе?

П. А. Черенков. Для ответа на Ваш вопрос мне придется начать с событий, происшедших в науке на рубеже XIX и XX столетий.

Как известно, в это время в физике был сделан ряд выдающихся открытий, ставших фундаментом ее бурного развития в последующие годы. В частности, на основании опытов по рассеянию α-частиц на атомах (точнее, на ядрах золота) была установлена планетарная модель атома. Регистрация рассеянных α-частиц, испускаемых радием, осуществлялась с помощью сцинтилляций, которые производились α-частицами на экранах из сернистого цинка (ZnS). По распределению этих вспышек Резерфорд пришел к заключению, что основная масса атома сосредоточена в его центральной части, а не распределена равномерно по всему его объему, как считали ранее. Подчеркнем, что в исследованиях Резерфорда применялся метод сцинтилляций, а детектором для их регистрации служил человеческий глаз (наблюдения велись через микроскоп).

Мне думается, что тема работы, предложенная мне Сергеем Ивановичем Вавиловым — моим научным руководителем, основные научные интересы которого относились к сфере явлений люминесценции,— была, по-видимому, навеяна блестящими возможностями метода сцинтилляций, продемонстрированными в работах Резерфорда. Сергей Иванович предложил мне выяснить, нельзя ли с помощью глаза наблюдать также сцинтилляции от электронов. Люминесцирующими веществами служили в экспериментах жидкости. Чтобы выяснить состояние проблемы, я познакомился с имевшейся литературой, просмотрел данные о наблюдениях, проведенных ранее, в частности об интенсивных сцинтилляциях, наблюдаемых на экране из ZnS, значительно более слабых — в алмазе и т. д.

Сергей Иванович Вавилов. 12[24].III 1891—25.I 1951

После многих попыток увидеть сцинтилляции от отдельных электронов, я пришел к выводу, что, по-видимому, они настолько слабы, что лежат за пределами чувствительности глаза и недоступны для регистрации с помощью этой методики.

Надо сказать, что Сергей Иванович жил тогда в Москве, а Академия наук, где я проходил аспирантуру, находилась в Ленинграде. Так что наши с ним встречи происходили раз в две недели. Он приезжал в Ленинград, где его ждала масса дел (кроме обязанностей директора физического отдела Физико-математического института, Сергей Иванович еще осуществлял научное руководство в ГОИ), но все-таки находил время, хотя бы полчаса, для беседы со мной, чтобы выяснить, как идут дела. В первую очередь, его интересовало, получены ли новые результаты — он всегда искренне радовался каждому новому результату.

После того как было показано, что сцинтилляции от отдельных электронов не наблюдаемы глазом (теперь-то мы прекрасно «видим» их с помощью фотоумножителей), было решено перейти к изучению «глобальных» эффектов, вызываемых в люминесцирующих веществах большими потоками радиоактивных излучений: β-частиц (электронов) и γ-лучей.

Основной целью этих исследований стало выяснение механизма свечения и сопоставление со свойствами излучения, возникающего при обычной фотолюминесценции[1]. Поэтому все измерения проводились параллельно: возбуждение люминесценции производилось как источниками радиоактивных излучений, так и видимым светом.

В качестве люминесцирующих веществ по методическим соображениям были выбраны жидкости, и в частности растворы ураниловых солей. Как я уже говорил, попутно проводились контрольные опыты и с растворами других люминофоров, таких как эскулин или флуоресцин. Однако основным объектом исследования стали именно соли урана. Предстояло установить закономерности их свечения под действием различных радиоактивных излучений и выяснить, имеется ли в этом случае что-либо общее с люминесценцией, вызываемой обычным фотовозбуждением.

В такой постановке экспериментов четко проявились характерные черты научного подхода С. И. Вавилова и его школы к изучению люминесценции. Использование жидких люминофоров давало возможность изменять в широких пределах такие их характеристики, как концентрация, вязкость, температура, оказывающие существенное влияние на длительность процесса высвечивания люминесценции.

[1] Напомним, что люминесценцией называют избыточное по отношению к тепловому (при определенной температуре) излучение тела, имеющее длительность, значительно превышающую период световых волн. Для люминесценции необходимо предварительное возбуждение вещества каким-либо воздействием, например бомбардировкой ионами или электронами (ионо- или катодолюминесценция), нагреванием в пламени (кандолюминесценция), ядерным излучением (радиолюминесценция), рентгеновскими лучами (рентгенолюминесценция), механическим воздействием (триболюминесценция), видимым или ультрафиолетовым излучением (фотолюминесценция), химическими реакциями (хемилюминесценция), электрическим полем (электролюминесценция). По времени свечения условно подразделяется на кратковременную флуоресценцию и более длительную фосфоресценцию. Важной характеристикой люминесценции является так называемый выход — отношение излученной энергии к поглощенной при возбуждении вещества. (*Прим. ред.*)

Примерно так определялось содержание моей диссертационной работы. Как видно, никакой задачи открыть что-то новое здесь не было.

Поскольку из-за слабости свечения обычные методы фотометрии здесь не могли быть использованы, главная трудность работы заключалась в необходимости применения совершенно нового метода регистрации (по порогу зрения), носившего ярко выраженный субъективный характер. Точность этого метода сильно зависела от состояния наблюдателя и определялась многими факторами (усталостью, бессоницей и даже настроением), строго учесть которые было, конечно, сложно.

Корреспондент. Таким образом, по крайней мере вначале, постановка задачи выглядела вполне традиционной. Как и когда появились данные о наличии, наряду с люминесценцией, дополнительного свечения и что убедило Вас в том, что это — новый, ранее не известный эффект? Какое из свойств наблюдаемого свечения «помогло» Вам в этом больше всего?

П. А. Черенков. Часто спрашивают, было ли открытие эффекта результатом запланированного эксперимента или на него «наткнулись» случайно?

В наши дни, когда контакты между теоретиками и экспериментаторами стали гораздо теснее, зачастую уже при постановке экспериментов планируется преднамеренный поиск тех или иных явлений, заранее предсказанных теоретически. Тогда подобная цель перед нами не стояла. Поэтому обнаруженный эффект скорее можно назвать попутным результатом исследований. Чтобы пояснить это утверждение, придется напомнить вкратце некоторые подробности проведения экспериментов по исследованию люминесценции растворов ураниловых солей.

Поскольку объектом исследований служили жидкости, в экспериментальной установке они, естественно, находились в каком-либо сосуде (первые опыты проводились с сосудами, изготовленными из стекла). Оказалось, что и сами сосуды могут светиться, поэтому нужно было избавиться от этого нежелательного фона, подобрав соответствующим образом материал сосуда. Мне пришлось изготавливать самые разнообразные сосуды из различных материалов, в том числе из тончайших листочков слюды (работа с ними была подстать ювелирной), и, в конце концов, остановиться на использовании платиновых сосудов, стенки которых сами не излучали и, кроме того, сравнительно легко очищались от загрязнений (в частности, прокаливанием). Таким образом, фон от возможного излучения стенок сосуда удалось исключить. Однако в ходе этой работы был выявлен дополнительный фон — свечение растворителя, даже самого чистого (при нулевой концентрации люминесцирующего вещества).

Наблюдавшееся свечение чистого растворителя было очень слабым, пренебрежимо малым по сравнению с люминесценцией, и заметить его можно было только после предварительной (порядка часа) адаптации глаза к темноте. (Те, кто занимается фотографией, хорошо знают, как сильно возрастает чувствительность глаза после длительного пребывания в темноте.) При обработке экспериментальных данных поправка на этот своеобразный «фон» не требовалась, т. к. величина его лежала в пределах ошибок при измерениях свечения люминесценции. По этой причине можно было бы отказаться от дальнейших измерений этого фона. Но встать на этот путь мне не хотелось, так как был собран уже значительный экспе-

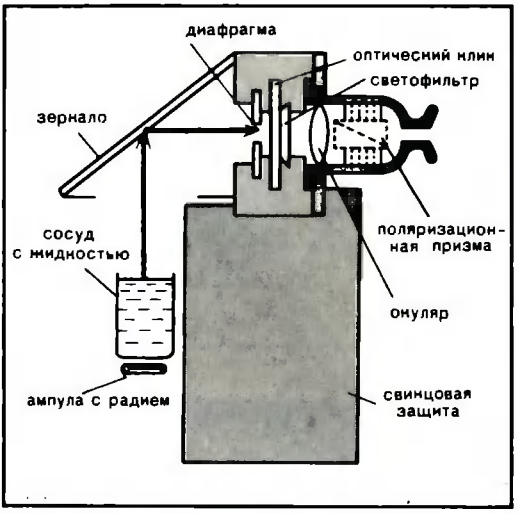
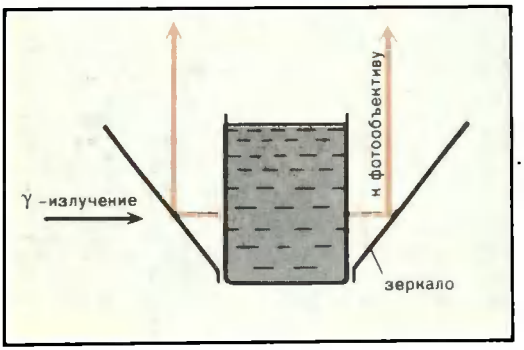


Схема экспериментальной установки П. А. Черенкова. Яркость излучения определялась с помощью оптического клина — пластинки с плавно меняющейся прозрачностью (расположенной на схеме перпендикулярно плоскости рисунка).

риментальный материал по свечению целого ряда чистых жидкостей. Кроме того, меня интересовало, постоянна ли величина поправки на фон или нет.

Поэтому при любых изменениях условий опыта я неизменно проверял, как меняется свечение самого растворителя. Именно полный набор таких данных, полученных во всех этих экспериментах, позволил установить, что свечение растворителя и других чистых жидкостей обладает удивительным постоянством и универсальностью. Несмотря на значительные изме-



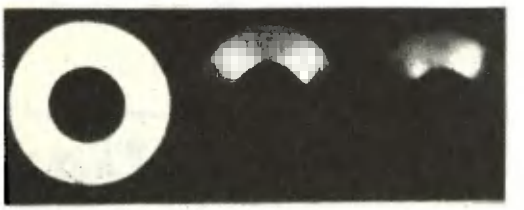


Схема установки для измерения углового распределения излучения Вавилова — Черенкова (вверх γ). Фотографии углового распределения интенсивности излучения (вниз γ): слева — обычная люминесценция (раствор эскулина в воде); в середине — свечение этилцинната (n=1,5804); справа — свечение воды (n=1,3371).

нения концентрации тушителя, температуры, вязкости, его интенсивность всегда сохранялась примерно на одном и том же уровне (т. е. не наблюдалось никакой тенденции к тушению[2]), что резко отличало его от люминесценции.

Когда опыты по изучению свечения растворов ураниловых солей под действием γ-лучей были завершены, из их результатов следовало, что это есть обычная люминесценция. Правда, наблюдались некоторые отклонения яркости от установленных ранее зависимостей интенсивности фотолюминесценции от концентрации раствора. Однако было показано, что они определялись свойствами самих растворов и объяснялись главным образом различием коэффициентов поглощения для видимого света и γ-излучения. При учете этого различия все выглядело так же, как и при фотолюминесценции. Таким образом, никакой принципиальной разницы в люминесценции вещества при фото- и γ-возбуждении не было найдено.

Корреспондент. Ну, а что же зарегистрированное попутно «фоновое» излучение?

П. А. Черенков. На этом этапе работы оно особой роли не играло. Однако его удивительная стабильность, наличие у него определенной поляризации, отсутствие свойств, типичных для люминесценции, побуждали присмотреться к нему повнимательнее и попытаться детальнее изучить его свойства. Было бы непростительной ошибкой оставить это слабенькое свечение вне поля зрения.

О его природе строились самые разные предположения. Вначале высказывалось, например, мнение, что оно представляет собой просто-напросто сильно «потушенную» люминесценцию.

Для проверки этого предположения мною были проведены опыты с использованием особо чистых жидкостей, в частности воды, подвергнутой многократной перегонке. Оказалось, что даже в этих условиях свечение не исчезает и не меняет своей яркости.

Однако самым важным обстоятельством для выяснения истинной природы эффекта стало обнаружение его наиболее замечательного свойства — простран-

[2] Тушением люминесценции называют уменьшение ее выхода. Причинами тушения люминесценции могут быть безызлучательные переходы из возбужденных состояний атомов или молекул люминофора в состояния с меньшей энергией либо передача энергия возбуждения молекулам постороннего вещества — тушителя. В жидких растворах тушение люминесценции посторонними тушителями усиливается с уменьшением вязкости, облегчающим диффузионное сближение возбужденной и тушащей молекул. Возможно также концентрационное тушение, или самотушение люминесценции при увеличении в растворе концентрации самого люминесцирующего вещества. *(Прим. ред.)*

ственной асимметрии излучения. Это особенность излучения была установлена в известной мере случайно, при попытках изменить «редакцию» эксперимента таким образом, чтобы добиться наибольшей яркости свечения.

В опытах с водой (измерения проводились методом гашения) оказалось, что свечение испускается вперед, примерно под углом 30° к направлению пучка γ-лучей.

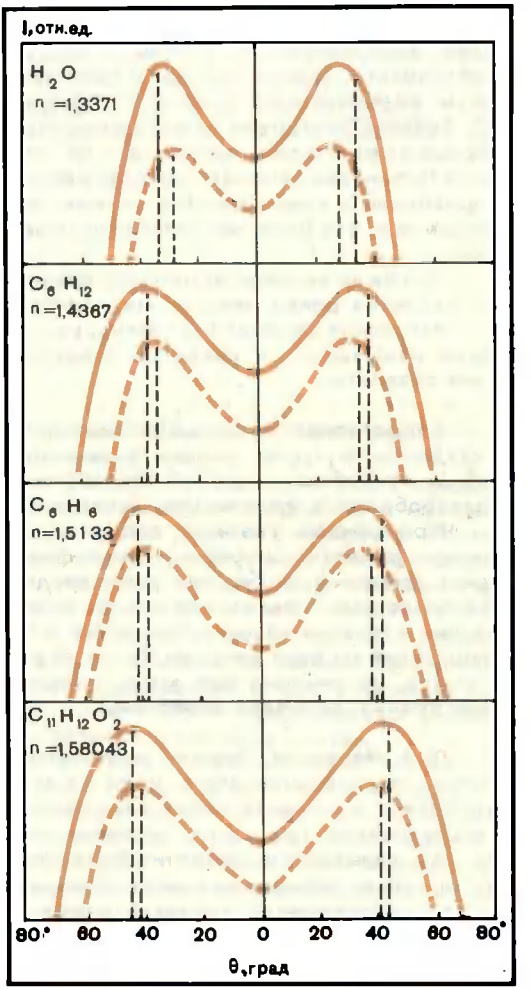
Впоследствии в специально поставленных опытах, в которых использовался тонкостенный цилиндрический сосуд, помещенный внутри конического зеркала, удалось подробно исследовать угловое распределение излучения, уточнить первоначально полученные результаты, сделать их более надежными и убедительными. Асимметрия излучения в такой постановке опытов могла наблюдаться как визуально, так и фиксироваться фотографическим методом. Фотографии давали надежное документальное подтверждение самого явления через его наиболее характерное свойство — направленность излучения.

Открытие пространственной асимметрии излучения имело решающее значение для построения И. Е. Таммом и И. М. Франком теории нового явления.

Корреспондент. Известно, что результаты исследований, выполненных Вами, в течение сравнительно долгого времени вызывали скептическое отношение и даже недоверие как в нашей стране, так и за рубежом. Что, по Вашему мнению, оказалось решающим в признании открытого Вами свечения?

П. А. Черенков. Действительно, интерес и признание пришли не сразу, а когда рассматриваемое излучение и все его необычные свойства экспериментально были изучены практически полностью. Причиной такого «запоздания» были сомнения, а порой и откровенное неверие в возможность существования излучения со столь удивительными свойствами, резко выделявшими его из хорошо известного и притом весьма обширного круга свечений тривиальной люминесценции. Подобный скептицизм можно понять (а его выражали порой даже весьма крупные ученые), если принять во внимание малость наблюдаемого эффекта и трудность повторения опытов, связанную с большой затратой времени и отсутствием в то время необходимых средств эксперимента — мощных источников быстрых электронов и чувствительных детекторов излучения.

Возвращаясь к прошлому, могу сказать, что мне не доставляло особого удовольствия узнавать, что мои эксперименты квалифицировались чуть ли не как занятия спиритизмом. Часто проводилась параллель с пресловутыми N-лучами Бландло — ошибочным эффектом, «закрытым» Р. Вудом. Были, правда, и приятные исключения. Я до сих пор с большим удовольствием вспоминаю восклицания Н. Бора «wunderbar, wunderschön» (нем. удивительно, прекрасно), повторенные несколько раз после того, как я продемонстрировал ему одно из са-



Зависимость интенсивности излучения I от угла θ для растворов с различными показателями преломления n; сплошные и пунктирные кривые соответствуют различным источникам γ-излучения (Th и Ra). Кривые симметричны относительно центральной оси, соответствующей направлению движения частицы, и напоминают сглаженную букву М, расширяющуюся с ростом показателя преломления жидкости.

мых существенных свойств излучения — его пространственную асимметрию.

Наиболее открытым и резким проявлением недоверия к новому эффекту был отказ журнала «Nature» опубликовать посланную мною краткую статью с изложением сути явления и его основных свойств. По-видимому, редакция журнала недостаточно серьезно ознакомилась с содержанием статьи. Получив отрицательный ответ и, к счастью, вместе с ним и саму статью, я, посоветовавшись с Сергеем Ивановичем, тут же переложил ее в другой конверт и отослал в редакцию американского журнала «Physical Review». Там отнеслись к ней более внимательно и довольно быстро опубликовали. После выхода в свет этой статьи американские физики Г. Коллинз и Р. Рейлинг повторили наши опыты, подтвердив их результаты. Они писали об «эффекте Черенкова», ссылаясь на мою работу, и приводили в своей заметке снимки, подобные тем, что были опубликованы ранее мною.

Это было началом всеобщего признания открытия ранее неизвестного эффекта — излучения заряженных частиц, равномерно движущихся в среде со сверхсветовой скоростью.

Корреспондент. Сегодня школьники и студенты в курсе физики знакомятся с этим эффектом и его использованием в разнообразных физических экспериментах. Черенковские счетчики стали непременным атрибутом многочисленных физических установок — без них даже трудно себе представить проведение многих исследований в физике космических лучей и на ускорителях высоких энергий. Какие из результатов, полученных при этом, с Вашей точки зрения, наиболее интересны?

П. А. Черенков. Прежде всего нужно сказать, что открытие этого эффекта стимулировало и вложило новое содержание в исследование процессов, возникающих при так называемых закритических скоростях, когда объект движется быстрее, чем распространяется волновой процесс, созданный им. Кроме того, необычные свойства нового излучения открыли широкие возможности его применения в различных физических исследованиях, и особенно в физике высоких энергий.

Как показывает теория Тамма—Франка, величина угла θ, под которым испускается излучение, зависит от показателя преломления n вещества и скорости v движущихся в нем частиц. Эта зависимость описывается формулой $\cos\theta = c/nv$, которая при всей своей простоте обладает удивительно богатым содержанием.

Во-первых, из этого соотношения вытекает, что по углу излучения частицы можно определить ее энергию, и во-вторых, из него следует, что эффект носит ярко выраженный пороговый характер. Именно эти свойства как раз и открывают исключительно богатые возможности для использования эффекта в физике высоких энергий. В частности, счетчики заряженных частиц, основанные на этом эффекте, должны обладать энергетическим порогом регистрации. Частицы с энергиями ниже этого порога счетчик просто не регистрирует и, следовательно, дает возможность исключить фон от огромного числа частиц низких энергий и избежать перегрузки информацией.

Рабочим веществом счетчика, именуемым, как правило, радиатором, может служить практически любое вещество, прозрачное для света,— газ, жидкость, стекло и т. д. Частицы, проходящие через радиатор, создают поток излучения, регистрируемый фотоумножителем, предварительно калиброванным в энергетических единицах. Такие устройства уже не просто регистрируют факт прохождения частиц, но и дополнительно определяют их энергию, поэтому они получили название черенковских спектрометров.

Можно было бы привести множество примеров эффективного использования черенковских счетчиков в физике высоких энергий. Один из наиболее ярких — открытие антипротона, сделанное на бэватроне в Беркли (США) Э. Сегре, О. Чемберленом и др. в 1955 г. Именно использование таких счетчиков позволило устранить здесь фон от π-мезонов, который на несколько порядков превышал сам эффект. Важность и ценность этой работы была отмечена присуждением ее авторам в 1959 г. Нобелевской премии по физике.

Не вызывает сомнения, что счетчики, основанные на эффекте, 50-летие которого недавно отмечала научная общественность, будут и в дальнейшем с успехом использоваться для получения важной информации о строении и свойствах вещества на предельно малых расстояниях.

Из истории открытия излучения Вавилова — Черенкова

И. М. Франк

Илья Михайлович Франк, академик, директор Лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований (г. Дубна), заведующий Лабораторией атомного ядра Института ядерных исследований АН СССР. Совместно с И. Е. Таммом развил в 1937 г. теорию излучения Вавилова — Черенкова. Автор ряда исследований в этой и смежных областях, а также работ по ядерной физике. Лауреат Государственных премий СССР (1946, 1954, 1971) и Нобелевской премии (1958).

В 1932 г. Сергей Иванович Вавилов стал в Ленинграде директором физического отдела Физико-математического института Академии наук СССР. В 1934 г., при переезде Академии в Москву, отдел выделился и превратился в Физический институт им. П. Н. Лебедева АН СССР — ФИАН, но первоначально это был небольшой отдел, в сущности лаборатория, в которой работало очень немного сотрудников. Естественно, перед Сергеем Ивановичем встала проблема выбора тематики для этого отдела. Исключительная дальновидность С. И. Вавилова проявилась в том, что в число работ, которые планировалось проводить в отделе, он решил включить исследования по ядерной физике.

В те годы ядерная физика вступила в эпоху замечательных открытий, но далеко не все понимали тогда, какую роль ей суждено было сыграть в развитии представлений о строении материи. В выборе тематики для отдела сказалась не только дальновидность Сергея Ивановича как научного руководителя, но, я бы даже сказал, и смелость: ведь физический отдел был маленький, специалистов по ядерной физике в нем просто не было, аппаратуры, подходящей для таких исследований, тоже не было. С. И. Вавилов сделал ставку в основном на молодежь, которую в то время активно привлекал к работе[1].

Такой выбор тематики был в какой-то мере неожиданным — всем было известно, что центром научных интересов Сергея Ивановича были проблемы оптики, и флуоресценции в особенности. Поэтому казалось, что именно это займет главное место в работе будущего ФИАНа. Однако с самого начала С. И. Вавилов считал, что институт должен быть многоплановым и в нем должны быть представлены разные направления физической науки.

Своему аспиранту, Павлу Алексеевичу Черенкову, Сергей Иванович поручил работу хотя и по люминесценции, но все же в какой-то мере смежную с ядерной физикой. Он предложил ему исследовать люминесценцию растворов ураниловых солей под действием γ-лучей радия. К тому времени уже была исследована люминесценция этих солей под действием видимого света, но Сергей Иванович счел необ-

[1] С. И. Вавилов привлек к работе и сотрудника Радиевого института Л. В. Мысовского, который помог с оснащением исследований. Позже, уже в Москве, лабораторию атомного ядра ФИАНа возглавил Д. В. Скобельцын.

ходимым посмотреть, не появятся ли какие-то особенности в этом явлении, если возбуждать его еще более короткими волнами — такими как γ-лучи. Исследования развивались очень успешно, и впоследствии эта работа стала темой кандидатской диссертации П. А. Черенкова. Попутно, однако, выяснилось одно, казалось бы, несущественное обстоятельство. П. А. Черенков обнаружил, что, кроме свечения молекул самой соли, почему-то светится и вода, в которой эта соль растворена. Свечение было очень слабым. Его можно было учесть просто как некий паразитный фон (во всяком экспериментальном исследовании может присутствовать такой фон) и на этом успокоиться. Было известно, например, что жидкости под действием ультрафиолетового света обычно слабо светятся за счет содержащихся в них малых примесей. Тем не менее Сергей Иванович поставил перед П. А. Черенковым задачу выяснить, что это за свечение. И тут неожиданно обнаружилось много интересного.

Прежде всего надо сказать, что работа, о которой идет речь, была очень трудная. Трудная потому, что свечение было очень слабым. Даже для того чтобы просто увидеть его, нужно было некоторое время пробыть в полной темноте, а чтобы изучать его, требовалось примерно в течение часа или полутора к ней адаптироваться. Для исследования свойств обнаруженного свечения необходимо было провести количественные измерения, выяснить от чего зависит наблюдаемое свечение, как оно меняется в различных условиях. А это было совсем непросто. Количественных методов, необходимых для изучения столь слабых интенсивностей, в то время никто, кроме Сергея Ивановича, не знал. Только ко времени начала этих экспериментов Сергей Иванович со своим учеником Евгением Михайловичем Брумбергом разработал метод сравнения яркости с порогом зрительного ощущения глаза — так называемый метод гашения.

Порог зрительного ощущения глаза — характеристика индивидуальная, но для каждого человека довольно постоянная. Если очень долго находиться в темноте, то чувствительность глаза достигает некоторой предельной величины. В результате, когда интенсивность излучения оказывается выше порога чувствительности, человек видит свет. Если же она становится меньше — свет исчезает. Это очень низкий порог — человеческий глаз способен увидеть всего несколько квантов, попадающих в него за одну секунду. И вот эта величина может служить неким эталоном. Если изучаемое свечение ослаблять до тех пор, пока оно не исчезнет, то по тому, во сколько раз его пришлось ослабить, можно судить об относительной интенсивности излучения. Павел Алексеевич этим методом овладел в совершенстве. И когда он применил его сначала для исследования люминесценции, а потом для изучения «фона», то выяснились совершенно неожиданные особенности наблюдаемого явления.

Оказалось, что под действием γ-лучей радия светятся все без исключения жидкости. Никакая очистка их от примесей ничего не меняла — светились даже самые чистые жидкости и, что самое удивительное, примерно с одинаковой интенсивностью. Это было первое важное обстоятельство. Второе: на выход люминесценции всегда можно воздействовать — для этого существуют так называемые тушители люминесценции, и, кроме того, она всегда чувствительна к изменению температуры. А вот наблюдаемое свечение не поддавалось никаким воздействиям. Какую бы жидкость ни выбирали, чтобы в нее ни добавляли, как бы ее ни нагревали, ничего не менялось. И, наконец, третье обстоятельство, которое поразило Сергея Ивановича, пожалуй, больше всего,— свечение было поляризовано. Поляризованное люминесцентное излучение хорошо известно (эта проблема была предметом изучения Сергея Ивановича и его учеников), но здесь поляризация была необычная. При люминесценции электрический вектор световых колебаний направлен перпендикулярно пучку возбуждающего света, а в наблюдаемом свечении этот вектор оказался направленным вдоль пучка γ-лучей. Люминесценции это не свойственно.

Сергея Ивановича очень занимали эти результаты, и поскольку он любил рассказывать своим ученикам о том, что делалось в его лаборатории, делиться своими соображениями по поводу наиболее интересных результатов, то я узнал об экспериментах П. А. Черенкова еще до знакомства с Павлом Алексеевичем и до публикации его работ. В то время я работал в Государственном оптическом институте (ГОИ).

Поскольку за несколько лет до этого, еще студентом, мне приходилось довольно много заниматься поляризованной флуоресценцией, Сергей Иванович предложил мне познакомиться с П. А. Черенковым и с его измерениями. То, что рассказал Сергей Иванович, было очень интересно. Так я стал участником событий, которые еще только начинали разворачиваться.

И. Е. Тамм, П. А. Черенков и И. М. Франк. Стокгольм, 1958 г.

Павел Алексеевич продемонстрировал свои опыты по определению поляризации свечения. То, что делал Павел Алексеевич, было надежно и достоверно. Через несколько месяцев по предложению Сергея Ивановича я перешел в возглавляемый им физический отдел. Это было в начале 1934 г., т. е. еще до перевода Академии наук из Ленинграда в Москву. С тех пор наше общение с Павлом Алексеевичем стало постоянным, да и Сергей Иванович часто звал меня на обсуждение этой работы.

В мае 1934 г., т. е. теперь уже 50 лет назад, были сданы в печать две статьи: П. А. Черенкова, в которой он излагал экспериментальные результаты о свечении чистых жидкостей под действием γ-лучей, и С. И. Вавилова, в которой анализировались эти результаты. Статьи поступили в редакцию «Докладов Академии наук» 27 мая, так что именно этот день надо считать официальной датой открытия.

В статье П. А. Черенкова содержалось краткое, но весьма аргументированное изложение результатов, полученных при исследовании двадцати различных жидкостей. Это позволило Сергею Ивановичу сделать очень существенные выводы: он с полной определенностью утверждал, что наблюдаемое явление — не люминесценция; свет излучается не вследствие возбуждения молекул под действием γ-лучей, а излучает быстрый электрон, возникающий под действием этих лучей в жидкости. Поскольку такие электроны летят в основном в направлении пучка γ-лучей, то вполне естественно, что колебания света связаны с направлением движения этих зарядов. Эти два важных соображения стали основополагающими для дальнейшего развития представлений о новом явлении. Что же касается механизма излучения, предложенного Сергеем Ивановичем, то он был единственно возможным для того времени: Вавилов считал, что это — тормоз-

ное излучение электрона. Этот вывод в дальнейшем пришлось пересмотреть.

Несмотря на то что «Доклады Академии наук» печатались в то время не только на русском языке, но и на одном из иностранных, статьи С. И. Вавилова и П. А. Черенкова, видимо, прошли незамеченными. Значение этих работ понимали только очень немногие, главным образом физики, связанные с Сергеем Ивановичем.

Надо сказать, что с современной точки зрения эксперименты П. А. Черенкова представляются не совсем обычными. Они проводились с очень простой, в сущности, настольной установкой. Исследуемая жидкость наливалась в платиновый сосуд, под которым или рядом с которым помещался препарат радия. Над сосудом, под углом 45°, помещалось зеркальце, позволявшее экспериментатору, сидящему рядом (за примитивной свинцовой защитой), видеть свечение жидкости. Для этого использовался окуляр, в котором имелся поляризатор света и фотометрический клин. Он позволял ослаблять свечение до тех пор, пока оно становилось невидимым для глаза. Таким образом, как я уже говорил, определялась его интенсивность.

Эксперимент в таких «примитивных» условиях требовал не просто большого экспериментального искусства — он требовал большого напряжения глаз и был очень утомительным. Надо было просидеть около часа в темноте, пока чувствительность глаз не достигнет своего предела, а потом уже проработать в таких условиях довольно длительное время. И надо сказать, что искусством экспериментатора и настойчивостью Павел Алексеевич обладал в полной мере.

После публикации первых статей работа продолжалась, выяснились еще некоторые особенности наблюдаемого свечения, однако решающий шаг был сделан примерно через полтора года — в 1936 г.

Поскольку, по предположению Сергея Ивановича, излучение было обязано движущемуся электрону, было решено поместить сосудик с жидкостью в магнитное поле, с тем чтобы искривить траекторию движения электрона и проследить за поворотом плоскости поляризации излучения в этих условиях (напомню, что поляризация должна быть связана с направлением движения электрона). Гипотеза Сергея Ивановича выглядела очень убедительной, но все же хотелось ее экспериментально подтвердить. Результат оказался абсолютно неожиданным, я бы сказал, даже парадоксальным. При включении магнитного поля сильно менялась яркость излучения, причем непонятно почему.

Это было удивительным. Несомненным было, что излучает сам электрон, но как он излучает и почему — еще оставалось неясным. Мы с Павлом Алексеевичем сопоставили ряд экспериментов с разной геометрией и пришли к выводу, что свет излучается в основном под острым углом к направлению движения электрона. Это было совершенно неожиданно и казалось невероятным.

Представим себе, что в стакан или стеклянную трубочку налита светящаяся жидкость. Жидкость прозрачная, сосуд также. Мы смотрим на нее с одной стороны — никакого свечения не видно. Смотрим с другой стороны — жидкость светится. Подобного явления в оптике еще никто не наблюдал. И тем не менее от этого факта некуда было деться. П. А. Черенков поставил прямые опыты и показал, что действительно свет излучается преимущественно вперед, под острым углом к направлению движения электрона. Поэтому, когда под действием магнитного поля траектория движения электрона изгибалась, вся картина свечения поворачивалась. В зависимости от того, куда отклонялся электрон — на экспериментатора или от него, свечение становилось либо ярче, либо слабее.

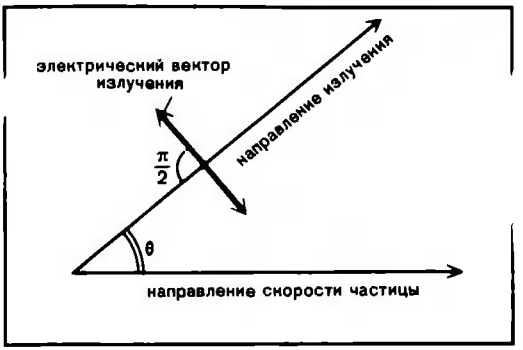
Сейчас к этому уже все привыкли, но я могу привести пример, когда аналогичная ситуация и в наши дни вызывает удивление. Я имею в виду случай, когда какой-либо объект движется со сверхзвуковой скоростью. Фронт звуковой волны имеет в этом случае коническую форму с острым углом по отношению к траектории движения. И вот до сих пор бывает трудно отделаться от привычных представлений. При полете сверхзвукового самолета мы слышим звук, похожий на выстрел. При этом иногда делают глубокомысленное замечание: «Самолет преодолел звуковой барьер». Никакого звукового барьера он не преодолевал, а летел с постоянной сверхзвуковой скоростью. Трудно себе представить, что самолет все время излучал звук, а мы его услышали только в тот момент, когда конус звуковых волн «проскочил» сквозь нас. (Уж очень мы привыкли к тому, что источник звука должен его излучать во все стороны!)

Так дело обстоит теперь, а в 1936 г. сверхзвуковых самолетов не было. И когда удивительная направленность излучения была обнаружена для видимого света, в это трудно было поверить. Даже Сергей

Иванович сильно сомневался, пока не убедился в этом собственными глазами.

Направленное излучение γ-лучей, например, при рассеянии на электронах, в то время уже было хорошо известно, но казалось парадоксальным, что подобное явление может иметь место в оптическом диапазоне волн.

Осенью 1936 г. в Москву приезжал выдающийся физик и блестящий экспериментатор Фредерик Жолио-Кюри. Мы с Сергеем Ивановичем присутствовали, когда Павел Алексеевич продемонстрировал Ф. Жолио-Кюри направленность наблюдаемого излучения. Опыт был очень простым — цилиндрический стеклянный сосудик с водой, окруженный коническим зеркалом; препарат радия помещался сбоку. Лучи, которые идут в горизонтальной плоскости, отражаются от зеркала вверх, и таким образом можно было наблюдать всю картину углового распределения излучения. Было непосредственно видно, что в основном свет излучается вперед и под острым углом к направлению лучей радия, а назад практически никакого излучения не идет. Это наглядно и безупречно убедительно, если, конечно, не заподозрить здесь элементарной ошибки, граничащей с жульничеством. Видимо, такая мысль возникла у Жолио-Кюри, который немедленно стал поворачивать сосудик и зеркало вокруг оси, чтобы убедиться, что прозрачность стекла или качество серебрения зеркала здесь не играют роли. И хотя он не мог ничего возразить по существу, все же в обсуждении был сделан намек на аналогию с N-лучами Бландло. Теперь ошибочные опыты Бландло, полагавшего, что он открыл новый вид излучения, совершенно забыты. Однако в то время N-лучи в какой-то мере были понятием нарицательным. Когда в силу тех или иных экспериментальных ошибок наблюдалась какая-нибудь чепуха вместо реальных явлений, говорили, что это N-лучи. Замечанию Жолио-Кюри не следует удивляться. Демонстрацию опыта приходилось проводить в полной темноте, и свечение было на грани видимости. Вся обстановка в самом деле была необычна для физического эксперимента и напоминала нечто вроде спиритического сеанса или фокуса с применением ловкости рук.



Поляризация излучения Вавилова — Черенкова; все векторы лежат в одной плоскости.

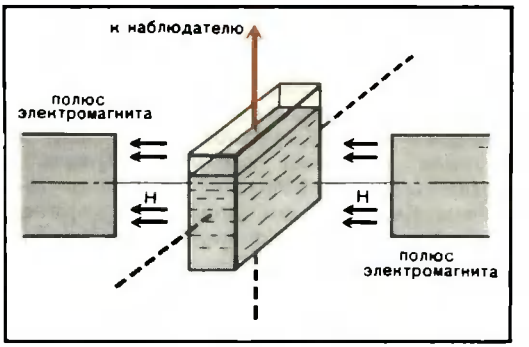


Схема установки по изучению влияния магнитного поля на яркость свечения жидкостей. Яркость свечения зависит от направления γ-лучей (пунктирные линии).

Направленность излучения, наблюдаемого в опытах Черенкова, была чрезвычайно важным экспериментальным фактом. С его обсуждения и началось собственно развитие теории.

Игорем Евгеньевичем Таммом было высказано в связи с этим существенное соображение, новая идея возникла и у меня. Я обсуждал ее с несколькими теоретиками, но понимания не встретил. Даже у Игоря Евгеньевича первоначально были сомнения в правильности качественного объяснения явления. Возражений было несколько, а главное — приходилось допустить, что равномерно движущаяся частица способна излучать свет. Понимая все трудности, из которых многие были кажущимися, и после ряда обсуждений мы с Игорем Евгеньеви-

чем пришли к выводу, что сделанные предположения необходимо положить в основу теории. Из этой теории следовало, что электрон, движущийся со скоростью, большей фазовой скорости света в среде, должен излучать свет. Была рассчитана величина световой энергии и объяснена характерная направленность излучения.

Теория явления, развитая совместно с Таммом, была опубликована в начале 1937 г. и у нас довольно быстро признана. Но и эта работа опять-таки осталась незамеченной зарубежными физиками. Когда все экспериментальные факты были уже в основном получены и подтверждены следствия нашей теории, П. А. Черенков написал небольшую итоговую статью. В ней содержалась сводка экспериментальных данных и приводились основные формулы теории. Сергей Иванович направил эту статью в журнал «Nature». Однако ее отклонили, сопроводив вежливым письмом. Какие в нем приводились доводы для отказа в публикации, я уже не помню. Но суть была понятна — она вызывала недоверие. Тогда по совету Сергея Ивановича работа была направлена в США, в журнал «Physical Review». Там оказались более либеральными и статью приняли. И вот после этого на эксперименты Черенкова обратили внимание и за рубежом. Стали появляться первые подтверждения его результатов.

По-видимому, первые исследователи, которые проводили свои опыты с электронами, полученными от ускорителей, считали, что здесь действует какой-то тормозной механизм излучения и поэтому отнеслись к новому явлению без предубеждения. И лишь постепенно утвердилось правильное понимание нашей теории.

С тех пор прошло много лет. Эффекту Вавилова — Черенкова посвящено много работ, теоретических и экспериментальных. Стоит, пожалуй, отметить, что, с теоретической точки зрения, это совсем не изолированное явление. Существуют разные случаи, когда излучение возникает при равномерном движении частицы.

Упомяну о некоторых проблемах, которыми мне приходилось заниматься. Совместно с В. Л. Гинзбургом была развита теория так называемого переходного излучения. Теперь ему посвящено много работ, и это излучение нашло применение в физике высоких энергий.

Иногда среда вносит существенные особенности в характер явлений. Таков, например, эффект Доплера. Известно, что в том случае, когда источник света движется точно навстречу наблюдателю, имеет место наибольшее доплеровское смещение спектра в сторону коротких длин волн (синее смещение). В среде возможен так называемый аномальный эффект Доплера — зависимость доплеровской частоты от направления движения в нем совсем иная. Неожиданные особенности должно иметь рассеяние света электроном, движущимся в преломляющей свет среде.

Говоря о роли фундаментальной науки, следует иметь в виду, что в момент открытия зачастую трудно предугадать, какое приложение может найти то или иное явление. В свое время слабенькое свечение, наблюдавшееся в опытах Черенкова, было на грани возможностей эксперимента. Теперь это явление стало обычным. Известно, например, что вода, окружающая активную зону ядерного реактора, светится ярким голубым светом. Это свечение даже демонстрируют экскурсантам. С тех пор необыкновенно усовершенствовались и методы регистрации слабых излучений. Появились фотоумножители, которые позволяют регистрировать излучение от отдельной частицы. Возникли возможности применения излучения Вавилова — Черенкова.

Самая известная область применения излучения, открытого 50 лет тому назад,— это черенковские счетчики, с помощью которых судят о свойствах быстрых частиц. Но она не единственная. С этим излучением имеют дело в физике плазмы, в физике ускорителей и во многих других случаях.

Одним словом, теперь это большая хорошо развитая область физики.

Излучение быстрых частиц в преломляющей среде

Б. М. Болотовский

Борис Михайлович Болотовский, доктор физико-математических наук, профессор, старший научный сотрудник Отдела теоретической физики им. И. Е. Тамма Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР. Основные научные результаты относятся к классической электродинамике. Автор книги: Свечение Вавилова — Черенкова. М., 1964.

Прошло 50 лет с тех пор, как было открыто излучение Вавилова — Черенкова. Об истории этого открытия и его объяснения рассказано в статьях П. А. Черенкова и И. М. Франка.

Здесь мы подробнее остановимся на самом объяснении физической природы свечения Вавилова — Черенкова и рассмотрим его применение в физике высоких энергий, а также проследим за тем, как развивалась в последующие годы теория излучения быстрых заряженных частиц в преломляющей среде.

ТЕОРИЯ ТАММА — ФРАНКА

В 1937 г. Игорь Евгеньевич Тамм и Илья Михайлович Франк объяснили, как и при каких условиях возникает свечение Вавилова — Черенкова[1]. Это объяснение сейчас кажется простым и естественным, но тогда его признание давалось нелегко. Дело в том, что оно на первый взгляд выглядело парадоксальным и не согласовывалось с некоторыми общепринятыми представлениями, в то время не вызывавшими сомнения и казавшимися незыблемыми.

[1] Тамм И. Е., Франк И. М.— Доклады АН СССР, 1937, т. 14, с. 107.

Действительно, И. Е. Тамм и И. М. Франк доказали, что свечение Вавилова — Черенкова излучают электроны, которые движутся в прозрачной среде равномерно и прямолинейно со скоростью, превышающей скорость света в этой среде. Но это объяснение, казалось, противоречило сразу двум хорошо известным положениям. Во-первых, считалось, что равномерно движущаяся заряженная частица не может испускать электромагнитные волны. Всякое излучение, как считали до появления работы Тамма и Франка, связано с ускоренным движением зарядов. Это вытекало из классической электродинамики: если с помощью уравнений Максвелла определить поле равномерно движущегося заряда, то оно не будет содержать излучаемых волн. Это следовало и из простых соображений, связанных с переходом от одной инерциальной системы к другой. В самом деле, пусть наблюдатель покоится в какой-нибудь инерциальной системе отсчета, а мимо него равномерно и прямолинейно движется заряженная частица. Тогда существует такая система отсчета, в которой эта частица покоится. Назовем ее системой покоя. Очевидно, в системе покоя поле частицы — это просто кулоновское поле покоящегося заряда. Никакого излучения в этом случае в системе

покоя нет. Но тогда, согласно специальной теории относительности, излучения нет и в любой другой инерциальной системе, так как факт наличия или отсутствия излучения не может зависеть от выбора системы отсчета.

Как же можно было утверждать, что свечение Вавилова — Черенкова представляет собой излучение равномерно движущегося заряда?

Второе возражение сводилось к тому, что никакое материальное тело не может двигаться со скоростью, превышающей скорость света. Это утверждение является следствием уже упоминавшейся теории относительности, и уже тогда (впрочем, как и сейчас) никто не сомневался в ее справедливости.

Как же можно было утверждать, что излучающие электроны движутся со скоростью, превышающей скорость света?

Однако серьезный анализ показал, что никаких противоречий в объяснении Тамма и Франка нет. Рассмотрим сначала «парадокс», связанный с утверждением, что скорость частицы превышает скорость света.

Теория относительности устанавливает предельное значение для скорости всех материальных тел. Это — скорость с света в пустоте, приблизительно равная $3 \cdot 10^{10}$ см/с (300 000 км/с).

Вспомним далее, что если свет распространяется не в пустоте, а в каком-нибудь прозрачном веществе с показателем преломления n, его скорость становится в n раз меньше, чем скорость света в пустоте. При этом показатель преломления в одном и том же веществе отличается для разных длин волн (это явление называют дисперсией). Скажем, для воды показатель преломления голубого и синего света равен примерно 1,337 (для красного — он несколько меньше). Поэтому скорость голубого света в воде составит $c/n \simeq 2{,}2 \cdot 10^{10}$ см/с. Величина c/n называется фазовой скоростью. Итак, фазовая скорость света в воде почти на 80 000 км/с меньше, чем скорость света в пустоте.

А какова же была скорость электронов, выбитых из атомов среды γ-лучами радия в условиях опытов Вавилова и Черенкова? В том-то и дело, что она равнялась примерно 250 000 км/с, т. е. превышала фазовую скорость света в воде, хотя, конечно, была меньше скорости света в пустоте. Таким образом, никакого противоречия с теорией относительности нет. Ни одно физическое тело не может обогнать свет в пустоте, но в мире атомных явлений много примеров, когда скорость частиц больше скорости света в веществе.

Перейдем теперь ко второму «противоречию» объяснения Тамма и Франка с теорией излучения света, т. е. к утверждению о том, что свечение Вавилова — Черенкова испускается равномерно движущимися электронами. Оказалось, что и здесь нет ничего сверхъестественного, ибо вывод теории Максвелла об отсутствии излучения при равномерном движении заряженной частицы в веществе не учитывал возможности того, что ее скорость может превышать скорость света в этом веществе. А если частица обгоняет свет, то становится возможным испускание электромагнитного излучения даже равномерно движущейся частицей.

Следовательно, представление о том, что равномерно движущаяся заряженная частица не излучает свет, не вполне точно. Конечно, электрон, равномерно движущийся в пустоте, никогда не излучает, поскольку его скорость не может превысить скорость света. При равномерном движении в преломляющей среде электрон также не излучает, если его скорость меньше фазовой скорости света в этой среде. Но если электрон движется быстрее света в среде, он испускает электромагнитные волны — свет.

Основные качественные черты явления можно понять из простой картины, основанной на принципе Гюйгенса[2]. Пусть через прозрачную среду с показателем преломления n движется заряженная частица со скоростью v, превышающей фазовую скорость света c/n в среде. От каждой точки пути, пройденного частицей, расходятся во все стороны сферические электромагнитные волны. Полное поле получается от сложения всех этих волн.

Нетрудно видеть, что все сферические волны, излученные зарядом, имеют общую огибающую поверхность — конус с вершиной в точке O_4. Эта огибающая, по принципу Гюйгенса, и есть та волна, которая образуется при движении заряда. Направление распространения этой волны определяется единичными векторами $\vec{N}$, перпендикулярными поверхности конуса. Угол θ между направлением распространения излучаемой волны и скоростью заря-

[2] Согласно принципу Гюйгенса, каждый элемент поверхности волнового фронта в некоторый момент времени служит центром элементарных волн, огибающая которых будет волновой поверхностью в следующий момент.

да, как легко видеть, находится из соотношения:

$$\cos\theta = c/nv. \qquad (1)$$

При этом, очевидно, должно соблюдаться условие $v>c/n$, так как $\cos\theta\leqslant 1$. Следовательно, подобное излучение возможно только при сверхсветовой скорости заряда.

Испускание таких направленных волн характерно не только для электродинамики. Если тело движется в газе со скоростью, большей скорости звука, образуется направленная звуковая волна (волна Маха). Аналогично, если скорость судна превосходит скорость распространения поверхностных волн, возникают волны, расходящиеся от направления движения судна под острым углом.

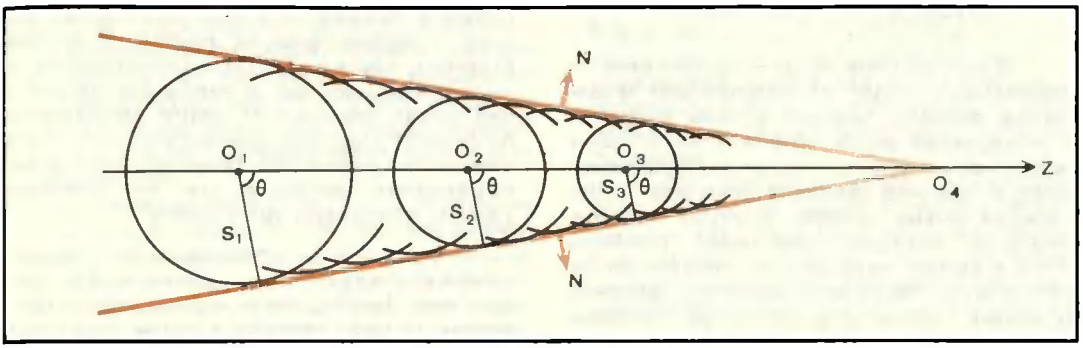
Таким образом, можно сформулировать общее правило, согласно которому равномерно движущийся в однородной среде источник испускает волны лишь в том случае, когда его скорость превышает скорость распространения волн в среде.

Как отмечалось выше, обычно в среде показатель преломления различен для волн разной длины. При нормальной дисперсии показатель преломления растет с частотой излучения. Поэтому из формулы (1) следует, что в излучении Вавилова — Черенкова красный свет излучается под меньшим углом, чем синий. Это подтвердил на опыте В. П. Зрелов. Пучок быстрых заряженных частиц проходил через прозрачную пластинку, и возникшее при этом излучение Вавилова — Черенкова фотографировалось на цветную пленку.

Соотношение (1), определяющее угловую направленность излучения, представляет собой один из основных выводов теории Тамма и Франка. Другой важной характеристикой является выражение для энергии, излучаемой в единицу времени при движении быстрого электрона в среде:

$$I(\omega)=e^2/c^2(1-c^2/n^2v^2)\omega \qquad (2)$$

(e — заряд электрона, ω — частота излучения). Из этого выражения видно, что чем больше частота излучения, тем больше его интенсивность. Синие волны (их частота выше) уносят бóльшую энергию, чем красные. Благодаря этому излучение воспринимается глазом как слабое голубое свечение.



Образование конуса излучения Вавилова — Черенкова при движении заряженной частицы вдоль оси Z со скоростью $v>c/n$. За единицу времени частица проходит расстояние O_1O_4. Световая волна за то же время успевает распространиться из точки O_1 на расстояние S_1, из точки O_2 на расстояние S_2 и т. д. Как легко видеть из рисунка, угол θ, определяющий направление единичных векторов $\bar{N}$, перпендикулярных поверхности волнового фронта, находится из соотношения $\cos\theta=S_1/O_1O_4=c/nv$.

Кстати, свечение этой же природы наблюдали в начале века Пьер и Мария Кюри при выделении радия из урановой руды. Соли радия, растворенные в воде, хранились у них в больших бутылях. По вечерам эти бутыли светились слабым голубоватым светом. Ученые любовались им, но не знали его физической природы. Теперь мы понимаем, что это могло быть именно излучение Вавилова — Черенкова.

Теория Тамма и Франка позволила также определить и поляризацию излучения Вавилова — Черенкова: электрический вектор этого излучения лежит в плоскости, проходящей через траекторию заряда и точку наблюдения.

Измерения, дополнительно проведенные П. А. Черенковым после создания теории Тамма и Франка, подтвердили все ее выводы.

Отметим, что формулу (1) для угла излучения получил еще в 1888 г. выдающийся английский физик и математик О. Хевисайд (1850—1925), который развил довольно подробную теорию излучения быстрых источников в преломляющей среде. Однако он не учитывал дисперсию, поэтому в его расчетах, в частности, получалось, что поле излучения на поверхности конуса обращается в бесконечность.

К сожалению, работы Хевисайда были начисто забыты еще при его жизни. О них вспомнили только в последнее десятилетие.

ЧЕРЕНКОВСКИЕ СЧЕТЧИКИ

Само по себе излучение Вавилова — Черенкова — одно из красивейших физических явлений. Однако в годы открытия и объяснения этого эффекта ни о каких практических его приложениях не думали. Дело в том, что свечение Вавилова — Черенкова очень слабое. Быстрая частица, скорость которой превышает скорость света в среде, излучает на каждом сантиметре пути несколько десятков фотонов видимого света. Эта величина слишком мала, чтобы можно было рассчитывать на какие-либо применения излучения Вавилова — Черенкова.

Но уже через десять лет появились весьма чувствительные приемники слабых световых сигналов — так называемые фотоумножители. Используя фотоумножители, физики разработали устройства, позволяющие регистрировать быстрые заряженные частицы по испускаемому ими излучению Вавилова — Черенкова. Эти устройства получили название черенковских счетчиков.

Простейший черенковский счетчик состоит из прозрачного вещества (радиатора), в котором быстрая частица испускает излучение Вавилова — Черенкова, схемы фокусировки излучения и одного или нескольких фотоумножителей, преобразующих слабую световую вспышку в легко измеряемый импульс напряжения.

Черенковские счетчики обладают рядом достоинств, которые обусловили их широкое использование в физике высоких энергий.

Во-первых, они регистрируют только быстрые частицы. Действительно, если сработал такой счетчик, ясно, что скорость частицы, вызвавшей отсчет, должна превышать скорость света в радиаторе.

Во-вторых, черенковские счетчики позволяют судить о направлении полета частицы. Так, счетчик регистрирует лишь частицы, движущиеся в направлении слева направо, а не справа налево. Частица, летящая справа налево, вызвала бы излучение Вавилова — Черенкова, которое также распространялось бы справа налево, в результате чего вышло бы из конуса через боковую поверхность и не попало бы на фотоумножитель. В этом отношении черенковский счетчик имеет преимущество перед счетчиком Гейгера, который также широко применяется в ядерной физике. В счетчике Гейгера частица обнаруживается по электрическому разряду, вызываемому ею в газе. Но срабатывание счетчика Гейгера означает лишь то, что частица прошла где-то в объеме счетчика, не сообщая ничего о направлении ее полета. С другой стороны, счетчик Гейгера регистрирует и медленные частицы, а черенковский счетчик имеет, как говорят, порог регистрации по скорости частицы, равный скорости света в веществе радиатора. Таким образом, в лабораторном арсенале эти два счетчика удачно дополняют друг друга.

Еще одно преимущество черенковских счетчиков — высокое быстродействие. Такой счетчик может зарегистрировать за одну секунду в сотни тысяч раз больше частиц, чем счетчик Гейгера. Это объясняется тем, что в счетчике Гейгера вызванный пролетевшей частицей газовый разряд длится довольно долго (приблизительно 10^{-4} с), и, пока разряд не погаснет, счетчик не готов к регистрации следующей частицы. А в черенковском счетчике время срабатывания определяется, грубо говоря, временем пролета частицы через радиатор.

С помощью черенковских детекторов удается узнать и энергию пролетевшей частицы. В области не очень больших энергий это можно сделать, измерив угол θ между скоростью частицы и направлением, в котором распространяется излучение Вавилова — Черенкова. Формула (1) тогда позволяет найти скорость частицы, а зная скорость, уже несложно вычислить и ее энергию. Если же скорость частицы близка к скорости света в пустоте, то измерение угла θ ничего не дает для определения энергии. В этом случае применяются так называемые черенковские счетчики полного поглощения. Радиатор в таких счетчиках достаточно велик для того, чтобы влетевший электрон мог создать электронно-фотонную лавину и чтобы эта лавина полностью развилась в толще радиатора (не успев выйти наружу). При этом суммарное излучение Вавилова — Черенкова от всех электронов лавины пропорционально энергии первичной частицы. Такой счетчик мо-

жет быть использован и для измерения энергии жестких γ-квантов.

В настоящее время черенковские счетчики заняли важное место в арсенале физики высоких энергий. Без них не обходится ни одна лаборатория, занимающаяся исследованиями в этой области.

РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ДВИЖУЩИХСЯ ИСТОЧНИКОВ

Работа И. Е. Тамма и И. М. Франка, в которой было объяснено излучение Вавилова — Черенкова, положила начало развитию важного направления в современной теоретической физике, лежащего на границе двух разделов: оптики и ядерной физики. Метод рассмотрения, выбранный в этой работе, оказался очень удобным для решения целого ряда задач, важных как для понимания новых явлений, так и для приложений.

Через несколько лет после появления работы И. Е. Тамма и И. М. Франка выдающийся итальянский физик Э. Ферми тем же методом рассмотрел вопрос об ионизационных потерях энергии быстрой заряженной частицы в среде. Ферми показал, что среда ослабляет действие пролетающей частицы на атомы, расположенные вблизи от траектории, и это обстоятельство необходимо учитывать, определяя потери энергии на ионизацию. Ранее на это обратил внимание американский физик Ф. Сванн, но он ограничился чисто качественными рассуждениями. Метод Тамма и Франка позволил рассмотреть этот вопрос количественно.

В 1942 г. И. М. Франк проанализировал эффект Доплера в преломляющей среде[3]. Как известно, при движении передатчика относительно приемника принимаемая частота отличается от излучаемой. Если частота излучателя ω_0, то при его движении в пустоте волны, излучаемые вперед, имеют частоту больше ω_0, а волны, излучаемые назад,— меньше ω_0. Когда излучатель движется в преломляющей среде, появляется ряд важных и интересных особенностей, связанных с тем, что в преломляющей среде скорость света равна c/n, а показатель преломления n зависит от частоты. Наличие дисперсии, как показал И. М. Франк, приводит к тому, что одной частоте, излучаемой движущимся телом, могут соответствовать два или даже больше значений частоты, принимаемого сигнала. Это расщепление частот получило название сложного эффекта Доплера.

В этой же работе был рассмотрен вопрос о том, с каких участков пути волны, испущенные движущимся источником, складываются в фазе. Соответствующие участки пути И. М. Франк назвал зонами Френеля, по аналогии с теорией дифракции. Впоследствии введенная им величина получила разные названия у различных исследователей: когерентная длина, путь формирования излучения, зона формирования. Знание этой величины оказалось очень важным для оценки возникающего излучения. В частности, Франк показал, что зона формирования излучения Вавилова — Черенкова бесконечно велика, т. е. волны, испущенные со всей траектории, собираются в фазе.

Для излучения вперед зона формирования быстро растет с ростом энергии частицы как для малых, так и для высоких (рентгеновских и выше) частот. На высоких частотах излучение Вавилова — Черенкова невозможно, так как показатель преломления $n(\omega)$ становится меньше единицы и условие $v > c/n$ невыполнимо. Но существуют другие виды излучения (о некоторых из них речь пойдет ниже), и для них оценка размеров зоны формирования способствует пониманию различных явлений.

Кроме того, И. М. Франк исследовал эффект Доплера для случая, когда скорость излучателя превосходит скорость света в той среде, в которой он движется. Оказалось, что при этом вперед испускаются волны со сравнительно малыми частотами, а с возрастанием угла между скоростью излучателя и направлением распространения волны частота растет (в противоположность тому, что происходит при обычном эффекте Доплера). И. М. Франк назвал это явление аномальным эффектом Доплера. Позднее В. Л. Гинзбург и И. М. Франк показали, что аномальный эффект Доплера характеризуется еще одним удивительным свойством. В обычном эффекте Доплера, когда излучатель движется с досветовой скоростью, он совершает работу на излучение и поэтому, если не подводить к нему энергию, колебания затухают. При аномальном же эффекте Доплера излучение волн сопровождается раскачкой колебаний излучателя. Противоречия с законом сохранения энергии здесь нет, энергия на раскачку колебаний берется из кинетической энергии излучателя, и он при этом тормозится.

[3] Франк И. М.— Известия АН СССР, 1942, т. 6, № 1, с. 3.

В 1945 г. В. Л. Гинзбург и И. М. Франк предсказали и проанализировали новый вид излучения равномерно движущегося заряда — переходное излучение, которое возникает при пересечении зарядом границы раздела двух сред с различными значениями показателя преломления[4]. В отличие от излучения Вавилова — Черенкова, переходное излучение существует даже в том случае, когда скорость заряженной частицы меньше скорости света в обеих средах.

Это предсказание подтвердилось экспериментально через 12 лет. Английские ученые П. Голдсмит и Дж. Джелли сообщили о наблюдении переходного излучения в 1958 г. Его наблюдали и значительно раньше в МГУ, где под руководством А. Е. Чудакова для проверки выводов Гинзбурга и Франка провели опыты, результаты которых, к сожалению, остались неопубликованными.

Переходное излучение поначалу также не сулило никаких приложений, ибо оказалось еще слабее, чем излучение Вавилова — Черенкова (если их сравнивать в оптической области спектра). Но в 1959 г. Г. М. Гарибян и К. А. Барсуков показали, что переходное излучение, испускаемое вперед по направлению движения частицы, растет с ее энергией, причем потери энергии на это излучение пропорциональны энергии частицы. В результате появилась надежда на то, что и переходное излучение можно будет применить для детектирования быстрых частиц[5].

Примерно в то же время начались теоретические исследования движения заряженных частиц в слоистых средах. М. Л. Тер-Микаэлян подробно изучил высокочастотное излучение, возникающее при пролете быстрой частицы через среду с периодически меняющейся плотностью. Он назвал это излучение резонансным, поскольку для испускаемых волн выполнялись определенные резонансные соотношения между периодом изменения характеристик среды, длиной волны и углом излучения, а также скоростью частицы.

Сначала казалось, что резонансное излучение никак не связано с переходным, однако потом между ними была установлена связь. Дело в том, что среда с периодически изменяющимися свойствами подобна набору пластин с чередующимися значениями показателя преломления: сначала пластина толщины d_1 с показателем преломления n_1, затем пластина толщины d_2 с показателем преломления n_2 (далее это расположение периодически повторяется). Но тогда при определенных условиях можно считать, что на каждой границе раздела имеет место переходное излучение, а интерференция излучения, возникающего на различных границах раздела, и дает резонансное излучение.

В 60-х годах появились детекторы быстрых частиц на переходном излучении. Их первоначальная конструкция выглядела следующим образом. На равном расстоянии друг за другом располагались тонкие слои материала (пластмассовые пленки или просто листы бумаги), разделенные тонкими воздушными промежутками. Число таких слоев по порядку величины составляло тысячу. Быстрая частица, проходя через эту систему, излучала кванты переходного излучения с энергией $\varepsilon \approx 1$ кэВ, которые регистрировались. Позднее вместо слоистой стали с успехом использовать пористую среду (поролон).

Детекторы заряженных частиц на переходном излучении обладают ценным качеством, особенно важным в физике высоких энергий. Как уже упоминалось, потери энергии быстрой частицы на переходное излучение пропорциональны ее энергии. Точнее, для частиц очень высокой энергии ($E \gg mc^2$) эти потери равны

$$W = Ae^2 \frac{E}{mc^2},$$

где A — постоянная, зависящая от свойств вещества, в котором движется частица. Следовательно, детекторы на переходном излучении позволяют измерять лоренц-фактор быстрой частицы (отношение ее энергии E к энергии покоя mc^2). Ни один другой детектор такой возможностью не обладает. Этим объясняется быстрое развитие техники изготовления детекторов на переходном излучении и их широкое применение в физике высоких энергий.

Кроме упомянутой регистрации частиц высоких энергий, излучение источников, движущихся в веществе со сверхсветовыми скоростями, применяется и в других областях физических исследований. Можно упомянуть об идее генерации коротких и ультракоротких радиоволн при распространении в среде пучков заряжен-

---

[4] Ginzburg V. L., Frank I. M.— J. of Phys. USSR, 1945, v. 9, p. 353; Гинзбург В. Л., Франк И. М.— ЖЭТФ, 1946, т. 16, с. 15.

[5] О переходном излучении подробнее см.: Гарибян Г. М., Ян Ши. Рентгеновское переходное излучение. Ереван, 1983; Гинзбург В. Л., Цытович В. Н. Переходное излучение и переходное рассеяние. М., 1984.

ных частиц, скорость которых превышает c/n' (n' — показатель преломления для радиоволны определенной частоты). В действительности частицы даже не обязаны двигаться в самом веществе — они могут пролетать вдоль узкого (его размеры должны быть меньше длины волны испускаемого излучения) вакуумного канала, проделанного в материале, обладающем диэлектрическими свойствами. Иными словами, излучение возникает и при движении заряженной частицы в вакууме, если она перемещается вблизи границы со средой. Правда, интенсивность такого излучения быстро падает до нуля с ростом расстояния между частицей и границей среды. Подобный механизм генерации позволяет надеяться на получение достаточно интенсивного радиоизлучения в диапазоне миллиметровых и более коротких длин волн.

Излучение такого типа оказывает заметное влияние на поведение частиц в плазме, имеет интересные особенности в кристаллах, характеризующихся, как известно, оптической анизотропией (зависимостью показателя преломления света от направления его распространения).

Остроумное применение этого излучения для ускорения заряженных частиц предложил В. И. Векслер. Чтобы частица не теряла, а приобретала энергию в результате излучения, надо, чтобы заряд и среда поменялись ролями, т. е. покоящийся заряд благодаря излучению увлекался средой, движущейся со скоростью, превышающей скорость распространения света в этой среде. В качестве движущихся сред В. И. Векслер предложил использовать достаточно интенсивные потоки движущихся электронов. Такие «плотные» электронные пучки могли бы ускорять, скажем, покоящиеся протоны или многозарядные ионы до энергий, во много раз превосходящих энергию электронов пучка (отношение энергий в этом случае определяется отношением масс частиц).

В последнее время оживленно обсуждается идея применения для ускорения заряженных частиц так называемого обратного эффекта Вавилова — Черенкова. При этом на тщательно сколлимированный монохроматический пучок точно под «черенковским» углом предполагается направлять лазерное излучение, которое, поглощаясь, должно увеличивать энергию частиц пучка. Специалисты надеются таким образом повысить один из основных показателей ускоряющих систем — приращение энергии на единице длины траектории частицы.

Предлагался также стандартный источник света (источник с известными интенсивностью и спектральным составом) на базе излучения заряженных частиц, движущихся со сверхсветовыми скоростями в специально подобранных растворах. Интенсивность и спектральный состав такого источника можно вычислить с большой точностью, поскольку разработанная теория явления очень точна. Кроме того, интенсивность свечения не зависит от температуры и малых количеств примесей в растворе, так как эти характеристики почти не меняют показатель преломления раствора. Как удалось установить еще в первых опытах, интенсивность свечения меняется со временем по хорошо известному закону радиоактивного распада. Меняя концентрацию радиоактивного изотопа в растворе, удается создать источники с заданной интенсивностью свечения. Перечисленные преимущества выгодно отличают источники этого типа от других и делают их незаменимыми во многих оптических измерениях. Они повсеместно использовались для контроля чувствительности фотоумножителей и при изучении люминесценции. Рассматривалась также возможность их применения в некоторых биологических и астрофизических исследованиях.

Свечение, о котором шла речь, по-видимому, еще удастся «приспособить» ко многим разделам современной науки и «заставить» работать в самых неожиданных областях. Стоит, в частности, упомянуть о попытках использования его для контроля за работой ядерных реакторов с прозрачным для света замедлителем нейтронов. Распадаясь в активной зоне реактора, ядра урана создают интенсивные потоки быстрых электронов, которые, проходя через воду, испускают свет, имеющий преимущественно голубую окраску. Интенсивность этого достаточно яркого голубого свечения, испускаемого в активной зоне реактора, в довольно широком диапазоне мощностей пропорциональна мощности, выделяемой в реакторе и, стало быть, позволяет контролировать изменение этой величины.

Исправно неся службу в науке в течение вот уже пятидесяти лет, это явление постоянно находило все новые и новые сферы применения. Думается, его возможности в этом смысле еще далеко не исчерпаны, и в будущем у него появятся многие новые интересные «специальности».

Экологическая химия водной среды

А. П. Пурмаль, Ю. И. Скурлатов

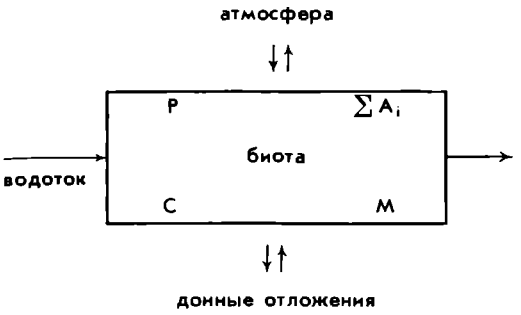
Анатолий Павлович Пурмаль, доктор химических наук, профессор, заведующий отделом процессов в конденсированных средах Института химической физики АН СССР. Специалист в области кинетики окислительно-восстановительных превращений. Автор ряда научных, учебных и популярных книг по различным разделам физической, общей и биологической химии. Член Комиссии АН СССР по разработке проблем охраны природных вод и Научного совета АН СССР по проблемам биосферы.

Юрий Иванович Скурлатов, доктор химических наук, старший научный сотрудник Института химической физики АН СССР. Специалист в области экологической химии и кинетики химических превращений в водной среде. Один из авторов монографии: Каталитические реакции и охрана окружающей среды. Кишинев, 1983.

Число известных химических соединений перевалило за 7 млн. Бóльшая часть их получена в лабораториях в граммовых количествах, достаточных для характеристики их структуры и химических свойств. Но и число веществ, производимых промышленно из природного сырья, столь велико, что для их перечня не хватило бы, наверное, страниц номера журнала «Природа». Что же касается их суммарной массы, то для ее выражения в единицах «тонн в год» пришлось бы оперировать величинами порядка сотен миллионов. Природное сырье в основном «складировано» в нефтяных, газовых, угольных, минеральных месторождениях. Подукты же его промышленной переработки производятся не для хранения на складах. Они используются, и большинство из этих веществ в иной, а часть (хладоагенты, инсектициды, пестициды, удобрения) в неизмененной химической форме возвращаются в окружающую среду. При этом неважно, в какую из ее частей — в воду, почву или атмосферу — попадают они первоначально. Испарение, растворение, движение воздушных масс, осадки, потоки грунтовых вод, почвенная эрозия и другие факторы обеспечивают попадание химических веществ в мировой коллектор отходов — в природные воды.

Природная вода — это совсем не тот универсальный растворитель, о котором в научных статьях обычно упоминают словами: «для приготовления всех растворов использовалась дважды перегнанная вода». Природная вода — сложная и непостоян-

ная по составу многокомпонентная система открытого типа, включающая неорганические и органические вещества. Схематически ее можно представить как химический реактор проточного типа:



Вещества и организмы заносятся в водоем вместе с течением, поверхностным стоком, сточными водами, либо с осадками. Часть веществ может испаряться или оседать на дно в виде донных отложений. В толще воды отдельную фазу составляют водные организмы, в растворе присутствуют седиментарные частицы C, ионы металлов переменной валентности M, токсичные (P) и нетоксичные (A_i) органические и неорганические вещества.

Система эта подвергается воздействию солнечного света, первичными приемниками энергии которого являются, в частности, синезеленые (цианобактерии) и зеленые водоросли. Их «пищей» являются не только CO_2 и H_2O, но и многие из неорганических и органических компонентов природной воды, а среди продуктов выделения присутствуют необходимый для существования водной фауны кислород и различные органические вещества. К продуктам жизнедеятельности гидробионтов добавляются продукты разложения организмов после их гибели. Итог — малоароматный «букет», включающий H_2S, NH_3, HCNS, диамины — путресцин и кадаверин, органические кислоты, спирты, полипептиды, алкалоиды и многие другие. Не все, но заметная часть этих веществ — токсична.

В результате совокупности физико-химических и химико-биологических процессов, в водоемах осуществляется круговорот химических веществ и живых организмов, устанавливается некоторое квазистационарное (медленно меняющееся во времени) состояние химических и биологических компонентов водной среды. На фоне этого состояния и протекает эволюция водной биоты. До сравнительно недавнего времени состояние среды в целом не зависело от деятельности человека — эволюция биоты протекала по своим законам. В последние же десятилетия антропогенное воздействие на природную водную среду резко возросло.

Увеличение потока химических веществ в природную воду и зарегулирование стока крупных рек создало условия обильного кормового снабжения гидробионтов со всеми вытекающими последствиями. Вызванная «цветением» водоемов интоксикация природной воды опасна тем, что она имеет сезонный характер, а некоторые из токсинов устойчивы к кипячению и хлорированию воды. При этом действуют они в концентрациях, которые подчас ниже уровня чувствительности стандартных аналитических методов. Не перечисляя названий различных заболеваний, к которым приводит теплокровных животных потребление природной воды, не прошедшей возрастающей по стоимости обработки на станциях водоснабжения, подчеркнем, что загрязнение природных вод имеет глобальные последствия. Проявлением влияния этих последствий является замедление темпов роста национального дохода, ухудшение условий жизни общества и сокращение средней продолжительности жизни населения, пагубное отражение на потомстве и биосфере как среде обитания людей.

Подчеркнем, что пока речь шла о загрязнении природных вод нетоксичными веществами, превращающимися, однако, в таковые в результате комплекса химико-биологических процессов. Но в природные воды попадают и токсичные вещества антропогенного происхождения. В первую очередь к ним относятся пестициды, о важности которых для повышения производительности сельскохозяйственной продукции говорить не надо. В то же время обобщение данных о динамике содержания пестицидов в водах, микро- и макропланктоне, моллюсках, рыбе и в донных отложениях привело к осознанию опасности глобального отравления планеты пестицидами. В связи с этим с 1974 г. начались работы по советско-американскому проекту «Формы и пути миграции пестицидов и химикатов» (в окружающей среде). Активное участие в этом проекте принимают Институт экспериментальной метеорологии Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды и Институт химической физики АН СССР.

Загрязнение воды поверхностным стоком и сточными водами происходило

всегда. Противодействовали изменению качества вод природные процессы самоочищения. Эти факторы были уравновешены до тех пор, пока масштабы антропогенного воздействия не стали сопоставимы с природными. Судьба Миссисипи, «сточной канавы» Америки, показывает, к чему приводит неконтролируемое многолетнее загрязнение. В воде, взятой в ее среднем течении и разбавленной чистой водой в 10 раз, рыба погибает менее чем за минуту, а при 100-кратном разбавлении — в течение суток. Естественное и антропогенное загрязнение природных вод происходит сегодня, будет происходить и в будущем. Но процессы загрязнения и самоочищения должны быть сбалансированы. Поэтому-то столь важно понимание сути и механизмов самоочищения. Биологический путь самоочищения за счет бактерий и водорослей считался и основным, и единственным. Однако, по оценкам ученых США, оказалось, что для самоочищения биологического фактора недостаточно, должны существовать и иные каналы этого важнейшего процесса. Такими каналами потенциально могли бы быть каталитический и фотохимический. Ведь кроме воздействия органических веществ — восстановителей и окислителя — кислорода, природная вода подвергается солнечному облучению, а также содержит ионы металлов переменной валентности — классические катализаторы окислительно-восстановительных процессов.

Все органические вещества в присутствии кислорода термодинамически неустойчивы по отношению к продуктам их полного окисления до CO_2 и H_2O. В присутствии же ионов металлов переменной валентности этот принципиально возможный, термодинамически разрешенный переход становится реальным путем превращения органических веществ.

Другой тип химического превращения органических веществ в водном растворе — гидролиз — также термодинамически выгоден для тех веществ, которые, кроме связей С—С и С—Н, включают С—О—С, С—NH—С, С—Х (Х — галоид) и другие. Классическими катализаторами гидролиза являются ионы H^+, OH^- и те же ионы металлов. Поставим вопрос: ионы каких металлов переменной валентности могут претендовать на роль катализаторов окислительно-восстановительных процессов самоочищения, и попытаемся предсказать, что это за металлы на основе их физико-химических свойств.

В качестве усредненной характеристики озерно-речных вод можно принять величину pH=7,6: природная вода не в «стрессовой» ситуации практически нейтральна. Обратившись к табличным данным о произведениях растворимости гидроокисей, можно рассчитать средние (для летнего диапазона температур 18—25 °С) предельные концентрации ионов металлов переменной валентности в водном растворе. Поскольку каталитическое действие их связано с изменением заряда, целесообразно привести величины этих предельных концентраций и для окисленного, и для восстановительного состояний (в молях на литр):

Cu^{2+}—10^{-7}	Mn^{2+}—10^{-1}
Cr^{3+}—10^{-11}	Fe^{2+}—10^{-2}
Hg^{2+}—10^{-13}	Co^{2+}—10^{-3}
Mn^{3+}—10^{-17}	Cr^{2+}—10^{-7}
Fe^{3+}—10^{-19}	Cu^{+}—10^{-8}
Ti^{4+}—10^{-22}	Hg^{2+}—10^{-10}
Co^{3+}—10^{-25}	Ti^{3+}—10^{-16}

Посмотрев на эти два столбца, нетрудно выявить главного претендента на роль гомогенного катализатора окислительно-восстановительных превращений — ионы меди. Лишь для этих ионов величины предельных концентраций и Cu^{2+} и Cu^{+} — малые, но соизмеримые величины, ранга «каталитических». Ближайший претендент — ионы хрома. Но у ионов Cr^{3+}, как у потенциального катализатора, кроме малости предельной концентрации (10^{-11} моль/л), есть еще одно «темное пятно» в характеристике. Лабильность замещения воды в ближайшем окружении иона — его первый координационной сфере — для Cr^{3+} крайне низка, а большинство каталитических процессов включает стадию вытеснения молекулы воды из координационной сферы иона металла частицей субстрата. Это и позволяет сделать однозначный выбор в пользу меди как гомогенного катализатора окислительно-восстановительных превращений в природных водах.

А из гетерогенных катализаторов наиболее значимым оказался гидроксид железа (III). Приведенные выше величины предельных концентраций ионов металлов характерны для воды, не содержащей сильных комплексонов (С). В их присутствии возможен переход в раствор бóльших количеств того или иного иона металла как результат установления сопряженных равновесий:

$$M(OH)_{n(кр)} \rightleftarrows M^{n+} + nOH^-$$
$$M^{n+} + C \rightleftarrows MC^{n+}$$

Такой комплексон поставляют в природные воды в виде гумусовых веществ и лесные стоки, и — подчас в большей мере — предприятия целлюлозно-бумажной промышленности. Как показывают модельные эксперименты, эффективность процессов самоочищения воды будет при этом изменяться в худшую сторону. Но те же гумусовые вещества повышают коэффициент химической утилизации энергии солнечного света. Изменение прозрачности воды неблагоприятно сказывается, однако, на жизнедеятельности придонной микрофлоры. Можно продолжить перечисление сложных связей и различных факторов, существенных для процессов самоочищения в природных водах. Далее мы рассказываем о химико-биологической модели, о роли перекиси водорода, о новых критериях оценки качества природной воды. Самое же главное то, что наука о катализе, кроме традиционной сферы своего приложения — технологии, начала распространяться на сферу экологии. Можно полагать, что катализу удастся в будущем разрешить становящийся все более острым конфликт между технологией и экологией.

В самом общем виде проблема сохранения и улучшения качества вод, в плане гомогенного катализа, включает три группы задач: совершенствование технологических процессов с целью уменьшения загрязнения стоков, разработку эффективных способов химической очистки сточных вод и методов количественной оценки способности водной среды к химическому самоочищению.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Для технологических процессов характерно использование больших концентраций исходного субстрата, а главной задачей является увеличение селективности каталитического процесса и снижение выхода побочных продуктов, приводящих к загрязнению окружающей среды.

Возможности гомогенного катализа в этой области очень большие. Вспомним, что в живом организме практически все химические процессы и синтеза, и деструкции веществ протекают с участием природных катализаторов — ферментов, особенностью которых является высокая селективность в сочетании с высокой эффективностью каталитического действия. Сравнительно недавно информация об «устройстве» ферментов была скудной и широкое применение имел метод моделирования ферментов соединениями различной сложности. На основе общих черт механизма действия фермента и его моделей формировались представления о том, из чего состоит фермент, как он функционирует. Так было сформулировано представление о многоядерности окислительно-восстановительных металлоферментов как их характерной черте.[1] Благодаря участию двух и более ионов металлов переменной валентности в окислительно-восстановительном взаимодействии становятся возможны, например, процессы восстановления O_2 до H_2O_2 и H_2O, восстановления H_2O_2 до H_2O без промежуточного образования активных свободных радикалов $\dot{O}_2$, OH. При таком механизме не развиваются побочные процессы взаимодействия этих радикалов с субстратными частицами, т. е. повышается селективность процесса. Примерами многоядерных металлокомплексов — катализаторов такого рода — являются гетерополисоединения[2], включающие до двенадцати частиц Mo (VI), W (VI), $V(V_3)$, трехъядерные железооксокарбоксилаты и др. Разработка каталитических систем такого типа — перспективный путь снижения отходов химического производства.

Постепенный переход к технологиям, в которых используются как окислители лишь O_2, H_2O_2 и O_3, перспективен и экономически, и экологически, поскольку продуктом их восстановления является вода, а не водные растворы солей различных металлов (натрия в случае окислителей — гипохлорита и хлора, хрома в случае хроматов и т. д.). Решение этой задачи применительно к различным производствам в большой мере сводится к разработке способов активации O_2 и H_2O_2. Физико-химическая сущность процессов активации этих окислителей ионами металлов переменной валентности в принципе выяснена[4].

[1] Пурмаль А. П. Механизм дыхания, фотосинтеза и фиксации азота. М., 1967, с. 179; Качанова Ж. П., Азизов Ю. М., Пурмаль А. П. Дву- и многоядерные комплексы в окислительно-восстановительном катализе.— В сб.: Комплексообразование в катализе. М., 1968, т. 13, с. 121.

[2] Кожевников И. В., Матвеев К. И.— Усп. химии, 1982, т. 51, с. 1875.

[3] Травин С. О., Травина О. А. и др.— Хим. физика, 1983, № 9, с. 1247.

[4] Скурлатов Ю. И. Элементарные механизмы активации кислорода и перекиси водорода в водных растворах. Реф. докт. дисс. М., 1980.

В промежуточном комплексе ионов металлов переменной валентности в восстановленной (M^+) или окисленной (M^{2+}) форме с частицами O_2, H_2O_2, различными субстратными частицами — восстановителями (DH_2, DH^-, D^{2-}) — имеет место полный или частичный перенос одного или двух электронов с M^+ на O_2, H_2O_2 или с DH_2 на M^{2+}. При полном переносе одного электрона происходит образование свободных радикалов $\dot{O}_2^-$, $\dot{O}H$, $\dot{D}H(\dot{D}^-)$ с последующими реакциями этих радикалов с субстратными частицами, ионами металлов, иными присутствующими в системе веществами. При частичном переносе заряда становятся возможны молекулярные механизмы окисления — восстановления, осуществляющиеся без выхода активных промежуточных частиц из координационной сферы ионов металла. Тип образовавшегося комплекса зависит от электронно-структурных и электрохимических характеристик ионов металлов в состояниях M^+, M^{2+}, M^{3+} и субстратных частиц. Так, в зависимости от этих характеристик O_2 образует с M^+ комплексы MO_2^+, различающиеся по геометрической структуре и по реакционной способности координированного кислорода:

$$M^+ + O_2 \rightleftarrows$$

$$\rightleftarrows MO_2^+ \quad \begin{cases} M^+ \ldots O{=}O \overset{кТ}{\rightleftarrows} M^{2+}{-}O^-{-}\dot{O} \\ M^+ \begin{matrix} O \\ \| \\ O \end{matrix} \overset{кТ}{\rightleftarrows} M^{3+} \begin{matrix} O^- \\ | \\ O^- \end{matrix} \end{cases}$$

Эти промежуточные комплексы с частичным переносом электрона при высоких концентрациях субстрата (DH_2) могут участвовать в его окислении с образованием молекулярных продуктов реакции:

$$MO_2^+ + DH_2 \rightarrow M^+ + D + H_2O_2.$$

Примерами таких реакций являются окисление аскорбиновой кислоты[5] или метилового спирта[6] в присутствии ионов меди с образованием дегидроаскорбиновой кислоты или формальдегида.

В случае комплексов M^{2+} с субстратной частицей — восстановителем — также возможен механизм окислительно-восстановительного взаимодействия без образования свободных радикалов. Такой механизм осуществляется в результате взаимодействия комплекса M^{2+} и DH^- с еще одним ионом M^{2+}:

$$1.\ M^{2+} + DH^- \rightleftarrows MDH^+$$

$$2.\ MDH^+ + M^{2+} \rightleftarrows 2M^+ + D + H^+$$

Этот молекулярный механизм превалирует над «обычным» процессом с образованием субстратных радикалов:

$$M^{2+} + DH^- \rightleftarrows MDH^+ \dashrightarrow M^+ + \dot{D}H$$

при повышенных концентрациях M^{2+}. Совместное участие двух ионов металла сродни механизму действия дву- или многоядерных комплексов металлов, в которых сближенные пары ионов металлов присутствуют уже в исходной структуре металлокомплекса. В этом плане кажется заманчивой перспектива осуществления процессов при высоких концентрациях ионов металлов — катализаторов. Сколь высоки они должны быть, зависит от конкретных особенностей и ионов металлов, и субстратов. В исследованных примерах окисления аскорбиновой и дигидроксифумаровой кислот ионами Cu^{2+} механизм окисления без образования свободных радикалов доминирует при концентрациях $[Cu^{2+}] \geqslant 10^{-4}$ моль/л. Этой же концентрации ионов Cu^+ достаточно для осуществления нерадикального восстановления O_2 ионами Cu^+:

$$1.\ Cu^+ + O_2 \rightleftarrows CuO_2^+$$

$$2.\ CuO_2^+ + Cu^+ \overset{H^+}{\rightarrow} 2Cu^{2+} + HO_2^-.$$

Для окисления H_2O_2 ионами Fe^{3+} концентрация их также близка к этой величине. В случае микроколлоидных частиц гидроксида железа (III), включающего в свою структуру сближенные ионы Fe(III), также реализуется нерадикальный механизм окисления H_2O_2 и последующего нерадикального восстановления H_2O_2 до $2OH^-$ образовавшейся сближенной парой ионов Fe(II).

Реакция Fe^{2+} с H_2O_2 обычно представляется как

$$Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+} + OH^- + \dot{O}H,$$

а сама пара реагентов, Fe^{2+} и H_2O_2, известна как реактив Фентона — генератор $\dot{O}H$-радикалов. При $[Fe^{2+}] \geqslant 10^{-2}$ моль/л этот реактив уже не выполняет своей функции, поскольку доминирующим становится процесс

$$1.\ Fe^{2+} + H_2O_2 \rightleftarrows FeH_2O_2^{2+}$$

$$2.\ FeH_2O_2^{2+} + Fe^{2+} \rightarrow 2Fe^{3+} + 2OH^-.$$

Возможность превращения Fe^{2+} в Fe^{3+} без образования $\dot{O}H$ в случае повышенных концентраций ионов железа открывает перспективы замены загрязняю-

[5] Schtamm E. V., Purmal A. P., Scurlatov Yu. I.— Int. J. Chem. Kinet., 1979, v. 11, № 2, p. 461.

[6] Травин С. О., Скурлатов Ю. И. и др.— Известия АН СССР, сер. хим., 1979, № 7, с. 1480.

щих среду окислителей экологически чистой перекисью водорода. Так, при производстве витамина С с использованием в качестве окислителя гипохлорита на тонну аскорбиновой кислоты образуется более 10 тонн хлористого натрия, попадание которого в окружающую среду приводит к минерализации природных вод, засолению почвы. Замена HClO на H_2O_2 — путь экономии сырьевых ресурсов и снижения загрязнения окружающей среды.

Нерадикальный путь окислительно-восстановительного взаимодействия может осуществляться не только при совместном действии двух ионов металлов, но и в случае одного иона металла, меняющего свое состояние от восстановленного M^+ до сверхокисленного M^{3+}. Образование M^{3+} возможно при взаимодействии M^{2+} с сильным одноэлектронным окислителем, как, например,

$$Cu^{2+} + \dot{O}H \rightarrow Cu^{3+} + OH^-.$$

Однако легче и чаще M^{3+} образуется при взаимодействии восстановленной формы M^+ с двухэлектронным окислителем типа HClO, $H_2S_2O_8$, XeF_2 и, что наиболее важно в экохимическом плане, с H_2O_2:

$$1.\ M^+ + H_2O_2 \rightleftarrows MH_2O_2^+ \begin{cases} \nearrow MOH^{2+} + OH^- \\ \searrow MO^+ + H_2O \end{cases}$$

Частицы MO^+, MOH^{2+}, $MH_2O_2^+$ можно рассматривать как комплекс M^+ с атомарным кислородом, комплекс $\dot{O}H$ с M^{2+} и дигидроксокомплекс $M^{3+}(OH^-)_2$. Как и в случае металл-кислородных комплексов, тип образующейся активной частицы определяется электрохимическим, электронноструктурным и геометрическим факторами. Так, $M^{3+}(OH^-)_2$ образуется в случае эквидистантной координации кислородных атомов перекиси водорода относительно иона металла, а частицы MO^+ при неэквидистантной координации.

Частицы, включающие в неявном виде ион M^{3+}, в последующем акте взаимодействия с DH_2 могут замыкать каталитический цикл:

$$2.\ MO^+ + DH_2 \rightarrow M^+ + D + H_2O.$$

Примеры каталитических реакций, в которых ион металла меняет свое зарядовое состояние на две единицы в реакциях и с окислителем, и с восстановителем, хотя и немногочисленны, но известны. Меняя координационное окружение иона металла, т. е. перечисленные выше его характеристики, по-видимому, удастся подобрать такого рода катализаторы для различных процессов.

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

В отличие от рассмотренных выше процессов, для очистки сточных вод существенна не столько избирательность, сколько эффективность окисления загрязняющих веществ. Применяемые ныне методы биологической очистки не решают всех проблем, особенно в случае многокомпонентных сбросов. Более перспективным представляется сочетание методов биологической и каталитической очистки.

Вновь, с точки зрения экологической чистоты процесса химической очистки, вместо таких окислителей, как молекулярный хлор или гипохлорит, целесообразно использовать кислород в сочетании с перекисью водорода (либо озоном). Перекись водорода, по сути дела, является формой существования «консервированных» в виде димеров, $(OH)_2$, гидроксильных радикалов. «Димеры» распадаются под действием ультрафиолетового света или при их одноэлектронном восстановлении:

$$M^+ + H_2O_2 \rightleftarrows MH_2O_2^+ \rightarrow MOH^+ + \dot{O}H.$$

Благоприятное условие для реализации этой реакции — малость концентрации M^+, т. е. снижение вклада от реакции с участием второго иона металла. Предшественниками ОН могут быть рассмотренные выше частицы типа MO^+, MOH^{2+}, $M(OH)_2^+$, которые в условиях малых концентраций окисляемых веществ будут окислять воду с образованием $\dot{O}H$. Взаимодействие $\dot{O}H$ с загрязняющими сток веществами поведет к образованию вторичных радикалов $\dot{D}H$, реагирующих далее с кислородом с образованием перекисных радикалов.

Принципиально возможен еще один путь генерации $\dot{O}H$-радикалов — взаимодействие H_2O_2 с комплексами M^{2+} и DH^-:

$$MDH^+ + H_2O_2 \rightarrow \dot{O}H + M^{2+} + \dot{D}^- + H_2O.$$

Такой путь генерации ОН, не изменяющий состояние окисления иона металла (M^{2+}), исключает необходимость регенерации иона в восстановленной форме M^+, как это необходимо в рассмотренном выше процессе. Однако при этом требуется стехиометрический по отношению к окисляемым загрязняющим веществам расход восстановителя (если концентрация загрязняющих веществ мала настолько, что развитие цепного процесса окисления их кислородом не происходит). Экономически

благоприятной будет ситуация, когда такой восстановитель сам является отходом производства или промежуточным продуктом окисления загрязняющего вещества. Так, например, при окислении винной кислоты, являющейся основным загрязнителем стоков винных заводов, образуется дигидроксифумаровая кислота, обладающая выраженными восстановительными свойствами. В результате процесс окисления винной кислоты совместно кислородом и перекисью водорода носит автокаталитический характер[7].

Следует отметить, что возможности применения H_2O_2 в очистке сточных вод используются пока недостаточно. Практически не изучена возможность интенсификации биологической очистки добавками перекиси водорода.

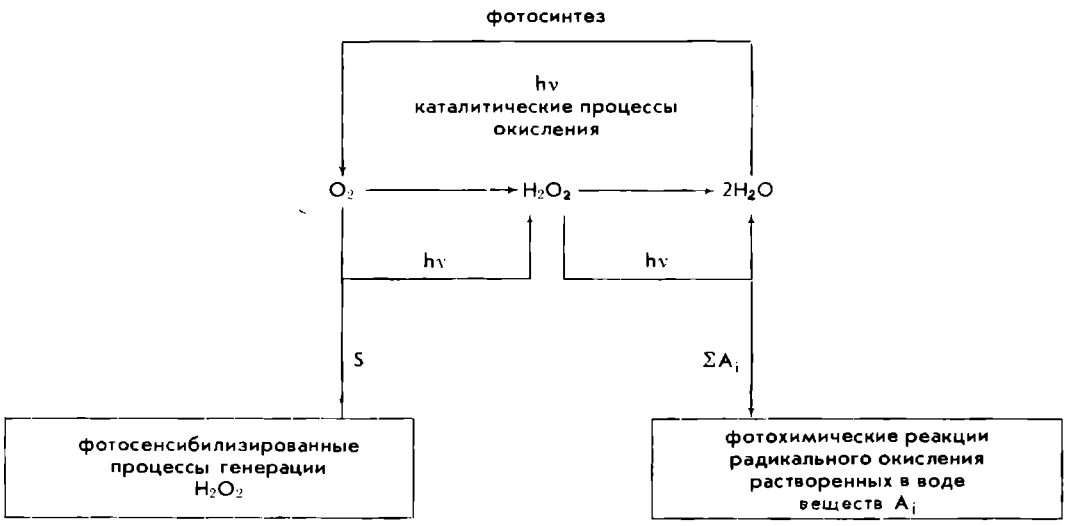
РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ХИМИЧЕСКОЙ САМООЧИЩАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВОДНОЙ СРЕДЫ

Естественно, как бы ни была совершенна технология, как бы ни чистили стоки промышленных предприятий, полностью остановить поток загрязняющих веществ в водоемы невозможно. Это и нерегулируемый поверхностный сток, и недоочищенные сбросы с предприятий. Более того, поскольку затраты на очистные сооружения растут по мере ужесточения требований к очистке, возникает вопрос, какая же степень очистки необходима, чтобы сброс не влиял на экологическое равновесие в водоеме. К сожалению, научное обоснование предельно допустимых сбросов пока отсутствует. Для этого в первую очередь необходимо знать факторы, определяющие самоочищающую способность водной среды и параметры природной воды, определяющие ее биологическую полноценность как среды обитания.

Как оказалось в результате исследований, проведенных совместно институтами химической физики и экспериментальной метеорологии, в процессах самоочищения большую роль играют окислительно-восстановительные превращения главным образом с участием перекиси водорода естественного происхождения и неизбежно присутствующих в природных водах ионов переменной валентности.

Впервые на образование H_2O_2 в природной (морской) воде указали американские ученые К. ван Баален и Дж. Марлер в 1966 г.[8] В нашей стране в более широком масштабе измерения H_2O_2 в природных водах суши провел В. Е. Синельников, который первым высказал идею о возможной роли перекиси водорода в самоочищении природных вод.

В круговороте кислорода перекись водорода занимает промежуточное положение между молекулярным кислородом и водой:



[7] Скурлатов Ю. И., Дука Г. Г., Эрнестова Л. С.— Известия АН Молд. ССР, сер. биол. хим. наук, 1983, № 5, с. 3.

[8] Baalen C. van, Marler J. E.— Nature, 1966, v. 211, p. 951.

Здесь S — сенсибилизаторы, A_i — вещества, взаимодействующие с ОН-радикалами.

Стационарное содержание перекиси водорода в природных водах определяется многими факторами и обычно колеблется в пределах 10^{-6}—10^{-5} М.

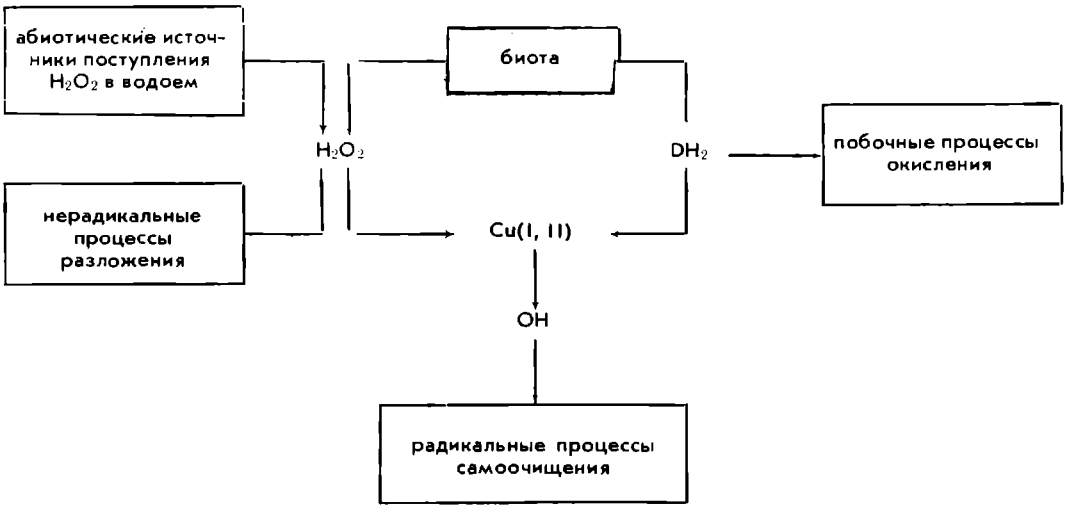
К образованию H_2O_2 приводят каталитические процессы окисления с участием O_2 и фотохимические процессы, протекающие в гомогенной среде с участием растворенных органических и неорганических веществ и in vivo в клетках зеленых и синезеленых водорослей. Распад H_2O_2 осуществляется как под действием солнечного света, так и каталитически, за счет присутствующих в воде микроколичеств ионов металлов переменной валентности.

Таким образом, каталитическая химия природных вод вновь сводится к химии систем типа M^{2+}, M^{+}—O_2—H_2O_2—DH_2 — субстрат (загрязнитель), но только в условиях наиболее низких концентраций реагентов. Перекись водорода, вводимая в водоемы в количестве $\sim 10^{-4}$ М, разрушается гораздо быстрей, чем в дистиллированной воде под действием солнечного света или в модельных системах за счет спонтанного разложения на примесях ионов металлов переменной валентности. Зачастую концентрация H_2O_2 уменьшается во времени со скоростью, практически не зависящей от ее исходной концентрации. Это позволило предположить, что скорость изчезновения H_2O_2 определяется скоростью образования веществ восстановительной природы (DH_2) биогенного происхождения, окисляющихся перекисью водорода гораздо более эффективно, чем растворенным в воде кислородом.

Удаление из воды микроводорослей приводит к резкому снижению скорости разложения H_2O_2. Напротив, введение в природную воду концентрата водорослей из того же водоема приводит к резкому ускорению реакции. Введение в такую каталитическую химико-биологическую систему (H_2O_2 — микроводоросли — примеси ионов переходных металлов) загрязняющих веществ сопровождается их быстрым окислением, из чего следует, что значительная доля перекиси водорода распадается через образование ОН-радикала.

Таким образом, **в природных условиях в водоеме реализуется мощный канал биогенного инициирования радикальных процессов самоочищения, сопряженный с каталитическим окислением восстановителей,** природа которых пока не установлена.

Результаты натурных исследований позволили предложить следующую химико-биологическую окислительно-восстановительную (редокс-) модель природной воды, согласно которой микроводорослевая биота участвует как в образовании перекиси водорода под действием солнечного света, так и в ее разрушении за счет выделения во внешнюю среду веществ с ярко выраженными восстановительными свойствами[9]:



[9] Скурлатов Ю. И., Эрнестова Л. С. и др.— Доклады АН СССР, 1984, т. 276, № 4, с. 1014.

Характеристиками, определяющими эффективность радикальных процессов самоочищения, служат скорость накопления в среде восстановителей и доля свободных радикалов в процессе разложения H_2O_2.

Выводы, вытекающие из этой модели, открывают путь к пониманию причин экологических сдвигов в водоемах и имеют большое значение для нужд рыбного хозяйства. Кроме того, возможность интенсификации процессов самоочищения в системе H_2O_2 — микроводоросли открывает новые перспективы очистки и подготовки воды.

Простейший анализ редокс-модели воды приводит к выводу о том, что присутствие H_2O_2 в пробах воды из водоема возможно лишь в том случае, если стационарная концентрация H_2O_2 выше, чем стационарная концентрация DH_2, т. е. если вода находится в окислительном состоянии. Если же скорость накопления в воде веществ восстановительной природы выше, чем перекиси водорода, то может реализоваться обратная ситуация — в пробе воды будет регистрироваться восстановитель, т. е. вода будет находиться в восстановительном состоянии.

Этот вывод получил экспериментальное подтверждение. Натурные исследования, проведенные в 1982—1983 гг. в районе Волгоградского водохранилища (комплексная программа «Волга» Минрыбхоза, Госкомгидромета и АН СССР) позволили обнаружить факт сезонного изменения редокс-состояния воды в Волге в период, предшествующий «цветению» водохранилища — при повышении температуры воды в реке до 20°С. Если учесть, что еще 10 лет назад перекись водорода в волжской воде присутствовала круглогодично, можно полагать, что изменение редокс-состояния от окислительного к восстановительному — одно из последних проявлений антропогенного воздействия на водную среду. Сезонное изменение состояния водной среды начинает приобретать систематический характер при возрасте водохранилища 10—12 лет и связано, по-видимому, с развитием в застойной воде биологических форм, эффективно продуцирующих во внешнюю среду вещества восстановительной природы. Наиболее эффективными продуцентами восстановителей являются синезеленые водоросли в период конкуренции с другими водорослями за ареал обитания.

Изменения состояния водной среды от окислительного к восстановительному не сопровождаются заметным изменением стандартных гидрохимических и гидробиологических характеристик качества воды. Тем не менее этот переход является, по сути дела, переходом от воды «живой», к воде «мертвой», поскольку он сопровождается резким усилением токсичности водной среды.

В качестве биологического теста был взят уникальный объект, имеющий большое рыбохозяйственное значение — личинки севрюги на самых ранних стадиях развития. После выклева из икры личинки помещали в аквариумы или садки с водой из разных источников или с водой с добавками различных химических соединений — общеизвестных токсикантов. Оказалось, что в окислительной среде, несмотря на присутствие в воде токсикантов на уровне, превышающем их естественное содержание в волжской воде (но не более ПДК), личинки нормально развиваются. При изменении же состояния водной среды от окислительного к восстановительному картина резко меняется — все личинки погибают до перехода на некоторую критическую стадию морфологического развития. Периодическое добавление в природную воду, находящуюся в восстановительном состоянии, небольших количеств перекиси водорода, искусственно возвращает ее в окислительное состояние — личинки нормально развиваются.

Выходит, что те рыбы, которые нерестятся в период формирования в воде восстановительных условий, обречены на вымирание, сокращение естественного воспроизводства. Другими словами, присутствие в природной воде перекиси водорода столь же жизненно необходимо для гидробионтов на ранних стадиях их развития, как и присутствие O_2!

Измерение окислительно-восстановительного состояния среды стали проводить лишь недавно, а изменение состояния воды, точнее, его негативные последствия, ярко проявились лишь в последние десятилетия. По-видимому, эволюция водной биоты проходила на фоне окислительного состояния водной среды. И вот теперь, в силу стечения обстоятельств (зарегулирования стока рек в сочетании с неконтролируемым притоком в водохранилища биогенных элементов и загрязняющих веществ), создались условия для возрождения биологических форм, наиболее приспособленных к существованию в восстановительной среде.

Итак, природная вода оказывается весьма сложной химико-биологической

окислительно-восстановительной каталитической системой открытого типа. Количественное описание этой системы откроет перспективу управления самоочищающей способностью и редокс-состоянием водной среды.

В качестве примера того, что уже принесло практике понимание процессов, протекающих в природных водах, можно привести выдержку с заводского стенда Волгоградского осетрового рыбоводного завода: «Коллектив завода систематически работает над усовершенствованием биотехники разведения молодых осетровых. Только в 1982 г. от внедрения метода выращивания личинок осетровых на личиночно-выростной базе с применением перекиси водорода для детоксикации природной воды получен экономический эффект более 1 млн рублей». Заводской эксперимент позволил в 1982 г. дополнительно вырастить и выпустить в Волгу 2,3 млн штук молоди севрюги — немалый вклад в воспроизводство этой ценной породы рыб.

В заключение хотелось бы кратко остановиться на других практических аспектах экологической химии природных вод. Речь идет о разработке новых критериев качества вод, характеризующих самоочищающую способность водной среды и ее редокс-состояние. Сейчас очевидно, что анализ состава воды по всем ингредиентам не реален, необходимы обобщенные показатели. Однако такие показатели, как ХПК (химическое потребление кислорода, перманганатная окисляемость), БПК (биологическое потребление кислорода) и др., широко применяемые в системе контроля качества вод, не содержат информации о реальном качестве водной среды. Об этом, в частности, свидетельствует отсутствие корреляции между этими показателями и редокс-состоянием водной среды. С другой стороны, биологическое тестирование качества вод хоть и позволяет вскрыть неблагоприятную ситуацию в воде, но не раскрывает причин токсикации.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Сычев А. Я., Травин С. О., Дука Г. Г., Скурлатов Ю. И. КАТАЛИТИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. Кишинев: Штиинца, 1983.

Синельников В. Е. МЕХАНИЗМ САМООЧИЩЕНИЯ ВОДОЕМОВ. М.: Стройиздат, 1980.

Сиренко Л. А., Гавриленко М. Я. ЦВЕТЕНИЕ ВОДЫ И ЕВТРОФИРОВАНИЕ. Киев: Наукова думка, 1978.

БИОСФЕРА. М.: Мир, 1972.

Шилов А. Е. МЕТАЛЛОКОМПЛЕКСНЫЙ КАТАЛИЗ И ЕГО МЕСТО В НАУКЕ О КАТАЛИЗЕ.— Природа, 1979, № 10. с. 44.

НОВОСТИ НАУКИ

Микробиология

Зеленые водоросли и нефть

Botryococcus braunii — один из видов разножгутиковых водорослей Heterocontae. Их можно встретить в воде многочисленных озер. B. braunii обладает уникальной способностью выделять в чрезвычайно больших количествах во внешнюю среду углеводороды, что позволяет рассматривать ее как возможный постоянный источник этих соединений в природе. В основном она производит диэтиленовые углеводороды (или диены) — C_{25}, C_{27}, C_{29}, C_{31} и один из видов триенов; соотношение их меняется, но всегда преобладают C_{29} и C_{31}.

Несколько лет назад группа исследователей под руководством Е. Казадеваль (E. Casadevall; Высшая национальная школа химии, Франция) заинтересовалась проблемой культивирования этой водоросли, чтобы с ее помощью получить углеводороды в промышленных масштабах. Дело оказалось весьма непростым. Получить нужные количества B. braunii очень трудно, так как ее культуры постоянно загрязнены различными случайными бактериями, от которых сложно избавиться.

Перспективы культивирования улучшились, когда стали изучать влияние различных видов бактерий на рост водоросли. Хотя бóльшая часть бактерий тормозила рост B. braunii, были обнаружены и бактерии, которые стимулировали этот рост. Наиболее стимулирующее влияние оказывала Flavobacterium aquatile. Углекислота, выделяемая во время дыхания этих бактерий, является дополнительным источником углерода для B. braunii.

По мнению авторов, разумный выбор партнеров для B. braunii позволит освоить культивирование этой водоросли в промышленных масштабах.

Comptes rendus de l'Académie des sciences, 1983, v. 287, p. 187 (Франция).

Космические исследования

Запуски космических аппаратов в СССР (май — июнь 1984 г.)

В мае—июне 1984 г. в Советском Союзе было запущено 34 космических аппарата, в том числе 31 спутник серии «Космос» с научной аппаратурой для продолжения исследований космического пространства. На спутнике «Космос-1574» была дополнительно установлена аппаратура для отработки системы, определяющей местонахождение судов и самолетов, терпящих бедствие.

На спутниках «Космос-1554, -1555, -1556» отрабатывались элементы и аппаратура космической навигационной системы, назначение которой — определение координат самолетов гражданской авиации и судов морского и рыболовного флотов Советского Союза.

С помощью спутников «Космос-1557, -1572, -1575» продолжается исследование природных ресурсов Земли в интересах различных отраслей народного хозяйства СССР и международного сотрудничества. Информация поступает в Государственный научно-исследовательский центр «Природа» для обработки и использования.

Очередной спутник связи «Радуга» выведен на близкую к стационарной круговую орбиту и оборудован ретрансляционной аппаратурой, которая в сантиметровом диапазоне длин волн обеспечивает непрерывную круглосуточную телефонно-телеграфную радиосвязь и одновременную передачу цветных и черно-белых программ Центрального телевидения СССР.

Автоматические грузовые корабли «Прогресс-21» и «Прогресс-22» доставили на орбитальную станцию «Салют-7» топливо для объединенной двигательной установки станции, оборудование, аппаратуру, материалы для проведения научных исследований и обеспечения жизнедеятельности экипажа, почту.

Космический аппарат	Дата запуска	Параметры начальной орбиты: перигей, км	апогей, км	наклонение, град	период обращения, мин
«Прогресс-21»	8.V	193	264	51,6	88,7
«Космос-1550»	11.V	993	1025	83	105
«Космос-1551»	11.V	209	305	72,9	89,3
«Космос-1552»	14.V	191	344	64,9	89,6
«Космос-1553»	17.V	977	1020	82,9	104,8
«Космос-1554 — -1556»*	19.V	19 125	19 125	64,8	676
«Космос-1557»	22.V	221	276	82,3	89,2
«Космос-1558»	25.V	178	318	67,2	89,1
«Прогресс-22»	28.V	194	261	51,6	88,8
«Космос-1559 — -1566»**	29.V	1444	1512	74	115
«Космос-1567»	30.V	428	462	65	93,3
«Космос-1568»	1.VI	209	396	72,8	90,2
«Космос-1569»	6.VI	614	40 165	62,8	710
«Космос-1570»	8.VI	792	830	74	100,9
«Космос-1571»	11.VI	218	398	70	90,4
«Космос-1572»	15.VI	227	297	82,4	89,4
«Космос-1573»	19.VI	209	317	72,9	89,4
«Космос-1574»	21.VI	985	1021	83	105
«Радуга»	22.VI	35 100	35 100	1,3	1397
«Космос-1575»	22.VI	231	292	82,3	89,4
«Космос-1576»	26.VI	180	376	67,1	89,7
«Космос-1577»	27.VI	974	1023	83	104,9
«Космос-1578»	28.VI	296	1673	50,7	105
«Космос-1579»	29.VI	257	281	65	89,6
«Космос-1580»	29.VI	249	367	62,8	90,4

Примечания: * Три спутника «Космос-1554, -1555 и -1556» запущены одной ракетой-носителем.
** Восемь спутников «Космос-1559 — -1566» запущены одной ракетой-носителем.

Космические исследования

Экспедиция на «Салют-7»: май—июнь 1984 г.

В мае—июне 1984 г. космонавты Л. Д. Кизим, В. А. Соловьев и О. Ю. Атьков продолжали выполнение запланированной программы полета.

В мае космонавты совершили еще два — четвертый и пятый — выхода в открытый космос. 4 мая Кизим и Соловьев работали в открытом космическом пространстве 2 ч 45 мин. За это время они сняли теплозащитное покрытие, установленное во время предыдущего выхода, смонтировали вторую дополнительную магистраль объединенной двигательной установки и проверили ее герметичность. Затем космонавты вновь поставили теплозащитное покрытие и возвратились в станцию.

18 мая Кизим и Соловьев осуществили пятый выход в открытый космос, во время ко-

торого они провели монтаж дополнительных панелей на второй солнечной батарее.

Затем Атьков, находившийся у пульта управления станцией, развернул эту солнечную батарею на 180 °, а командир и бортинженер провели монтаж второй дополнительной панели. Установленные панели оснащены эффективными фотоэлементами из арсенида галлия.

Время работы в открытом космическом пространстве в течение пятого выхода составило 3 ч 5 мин.

Таким образом, впервые в мировой практике за время одного полета на орбитальной станции космонавты совершили пять выходов в открытый космос общей продолжительностью 17 ч 50 мин.

Много времени экипаж уделял погрузочно-разгрузочным работам с автоматическими кораблями «Прогресс-20, -21 и -22». С помощью этих кораблей несколько раз проводилась коррекция орбиты пилотируемого комплекса.

Научная работа космонавтов включала исследования и эксперименты в области космической медицины, астрофизики, геофизики, технические эксперименты, исследования поверхности Земли в целях изучения ее природных ресурсов.

Особенно широко велись исследования поверхности Земли. Используя весь арсенал имеющейся на станции аппаратуры, космонавты вели инструментально-визуальные наблюдения и съемки различных районов территории Советского Союза и акватории Мирового океана. Была получена дополнительная информация о ледниках и снежном покрове Памира и Тянь-Шаня, геологических структурах Кызылкумов и Тянь-Шаня, о состоянии сельскохозяйственных угодий Краснодарского края, лесных массивов в Забайкалье и Восточной Сибири; были засняты районы Приморского края, районы, примыкающие к Байкало-Амурской магистрали, восточное побережье Советского Союза. По заданиям океанологов проводились несколько серий наблюдений и съемок акваторий Атлантического и Тихого океанов.

В итоге четырехмесячной работы по выполнению программы исследований поверхности Земли с помощью фотоаппаратуры МКФ-6М сделано 1783 кадра, фотоаппаратом КАТЭ-140 — 494 кадра, ручными камерами — более 500 кадров; визуальные наблюдения велись в течение 50 ч.

Медицинская часть программы включала систематические обследования экипажа для оценки состояния здоровья космонавтов, их самочувствия и работоспособности. Методом эхографии исследовалась сердечно-сосудистая система, эффективность различных физических упражнений, изучалась особенность углеводного и минерального обмена в организме человека, длительное время находящегося в условиях космического полета, оценивалось состояние зрительного аппарата, реакция системы кровообращения на имитацию гидростатического давления, создаваемого с помощью вакуумного костюма «Чибис», изучалась биоэлектрическая активность сердца в состоянии покоя.

Были проведены эксперименты по оценке параметров атмосферы вблизи орбитального комплекса, изучению земной атмосферы и ионосферы, ряд технических и материаловедческих экспериментов. Так, в эксперименте «Торсион» космонавты продолжали изучать влияние условий открытого космического пространства на конструкционные материалы.

Экипаж провел также ряд регламентных профилактических работ на станции.

С. А. Никитин
Москва

Космические исследования

Спутник «Лэндсат-5»

1 марта 1984 г. с Западного испытательного полигона США был запущен спутник «Лэндсат-5», предназначенный для изучения природных ресурсов Земли. Ракета-носитель вывела спутник на почти круговую геоцентрическую солнечно-синхронную орбиту высотой 683×698 км с наклонением 98,3 ° и периодом обращения 98,6 мин. Орбита выбрана таким образом, чтобы плоскость экватора спутник пересекал в 9 ч 45 мин утра по местному времени; каждые 16 суток обеспечивается повторяемость съемки одних и тех же участков земной поверхности в одинаковых условиях освещенности.

Стартовая масса спутника 1940 кг, система электроснабжения обеспечивает выработку 0,8 кВт электроэнергии в конце расчетного периода активного функционирования (3 года). По сравнению с предшественником — «Лэндсатом-4» — на «Лэндсате-5» улучшены панели с солнечными элементами, поскольку на «Лэндсате-4» задолго до окончания расчетного срока активного функционирования вышли из строя две (из четырех) панелей с солнечными элементами.

Научная аппаратура «Лэндсата-5» предназначена для получения изображений земной поверхности и их использования в интересах сельского и лесного хозяйств, землепользования и гидрологии, рыбного хозяйства, геологии, гляциологии. Особенно важным специалисты считают возможность по информации со спутника прогнозировать с высокой точностью урожайность различных сельскохозяйственных культур.

Научная аппаратура «Лэндсата-5» включает два прибора. Первый — камера MSS (многоспектральное сканирующее устройство), которая устанавливалась на четырех предыдущих спутниках этой серии; она предназначена для получения изображений в пяти спектральных диапазонах: 0,5—0,6; 0,6—0,7; 0,7—0,8; 0,8—1,1; 10,4—12,6 мкм.

Второй прибор — камера TM — для выборочного картирования или картирования с классификацией (имеется в виду классификация по получаемым изображениям сельскохозяйственных культур на группы); прибор обеспечивает получение изображений в семи спектральных диапазонах; 0,45—0,52; 0,52—0,60; 0,63—0,69; 0,76—0,90; 1,55—1,75; 2,08—2,35; 10,4—12,5 мкм. Впервые он был ус-

тановлен на «Лэндсате-4» в качестве экспериментального.

После начала эксплуатации спутника «Лэндсат-5» 1 апреля 1984 г. работа со спутником передана Национальному управлению США по изучению океана и атмосферы (НОАА), однако прибор ТМ до января 1985 г. будет контролироваться специалистами НАСА.

Одновременно со спутником «Лэндсат-5» ракета-носитель вывела на орбиту английский радиолюбительский спутник «Уосат-2».

Spacewarn Bulletin, SPX-365, 1984, p. 2 (KOSPAR); Air et Cosmos, 1984, №994, p. 45—46 (Франция).

Астрономия

Странное поведение Гипериона

Как показали снимки с борта «Вояджера-2», спутник Сатурна Гиперион характеризуется значительной сплющенностью: три его оси имеют длины 350, 234 и 200 км.

Еще необычней орбита спутника и характер его вращения вокруг собственной оси. У других спутников в Солнечной системе, находящихся близко к своей планете, скорость вращения вокруг оси под влиянием приливного трения постепенно замедляется, пока время одного оборота в этом движении не становится равным времени его обращения вокруг планеты. В результате, как это произошло и с Луной, спутник постоянно обращен к своей планете одной стороной.

Астроном Дж. Уисдом (J. Wisdom; Университет штата Калифорния, Санта-Барбара, США) обратил внимание на то, что Гиперион этому правилу не следует. Анализ орбиты, выполненный Уиздомом с коллегами, позволил заключить, что движение Гипериона вокруг оси претерпело такое воздействие приливного трения, которое заставляет его совершать «кувыркающееся» хаотическое движение, сопровождаемое значительными и в основном случайными флуктуациями в скорости вращения. За менее чем два оборота Гипериона вокруг Сатурна время обращения спутника вокруг собственной оси может резко изменяться — от 10 земных суток почти до нуля.

В качестве вероятной причины подобного поведения называют изменение вращающего момента Гипериона в результате воздействия тяготения Сатурна на весьма неправильно распределенную массу спутника. Но этого фактора недостаточно, чтобы объяснить наблюдаемый эффект. Примером может служить спутник Юпитера Амальтея, имеющий также очень вытянутую форму и тем не менее стабильно вращающийся вокруг своей короткой оси, в то время как его длинная ось постоянно направлена в сторону Юпитера.

Еще одна «странность» Гипериона — значительная вытянутость его орбиты. По-видимому, это связано с большим гравитационным резонансом, вызываемым притяжением гигантского спутника Сатурна — Титана, соседа Гипериона.

Наблюдения с помощью наземных средств пока не подтвердили данных «Вояджера-2». Однако из уже имеющейся информации следует, что период вращения Гипериона составляет 13 земных суток. Такой несинхронный с вращением Сатурна период также может подтверждать нестабильное положение спутника в пространстве.

Science News, 1983, v. 124, № 4, p. 59 (США).

Планетология

Как образовались гигантские планеты

Астрофизики Д. Готье (D. Gautier; Парижская обсерватория, Франция) и Т. Оуэн (T. Owen; Университет штата Нью-Йорк, Стони-Брук, США) проанализировали данные межпланетных автоматических станций «Вояджер», изучавших дальние окраины Солнечной системы с помощью инфракрасных спектрометров.

Им удалось установить, что в состав обеих планет-гигантов Юпитера и Сатурна входит вдвое большее количество углерода в форме молекул метана, чем в состав Солнца (в сопоставлении с наиболее распространенным элементом — водородом), а количество азота в форме аммиака, вероятно, также примерно вдвое превышает солнечное. Судя по наблюдениям наземными средствами, более удаленные от нас Уран и Нептун обладают еще бо́льшим относительным количеством углерода.

Подобные факты полностью опровергают гипотезу образования таких планет путем конденсации космической пыли и газа из протопланетной туманности вокруг Солнца.

Готье и Оуэн предлагают гипотезу, согласно которой образование гигантских планет представляло собой трехэтапный процесс, подобный тому, который считается приемлемым для образования твердотельных планет внутренней части Солнечной системы, включая и Землю. Вначале из протопланетной туманности возникли планетезимали, которые, вероятно, состояли главным образом из водяного льда с примесями метана (так называемые клатраты, в основном $CH_4 \cdot 7H_2O$). В случае Юпитера из этих планетезималей образовалось ядро, масса которого составляет около тринадцати земных масс. По мере образования ядро теряло газы (в том числе метан), образующие атмосферу планеты. Это и было вторым этапом.

Третий этап включал процессы, связанные с тем, что прото-Юпитер находился в относительно плотной части туманности; его гравитационное поле притягивало газы (в основном — водород) из всей окружающей области, образуя планету, масса которой в 300 раз превышает земную.

Этот гигантский газовый шар «загрязнялся» элементами, входившими в состав первичной атмосферы. В результате относительное содержание углерода и азота здесь стало бо́льшим, чем в первоначальной туманности.

Аналогично развивался и Сатурн. Однако в более удаленной от Солнца части системы, где находятся Уран и Нептун, в окру-

жающем пространстве было меньше газов. Поэтому в состав этих двух планет «избыточного» газа попало немного. Отсюда их меньшие размеры и метановые атмосферы, содержащие меньшее количество водорода.

Трудность данной гипотезы в том, что метан обладает довольно значительной летучестью. Если процесс образования Юпитера шел медленно и представлял собой соединение относительно малых тел, метан мог улетучиться, так как первые немногочисленные планетезимали обладали еще слабыми гравитационными полями.

Готье и Оуэн видят выход в том, что среди планетезималей были небесные тела, сходные с ныне сохранившимся спутником Сатурна — Титаном. Это один из крупнейших спутников во всей Солнечной системе; его размеры, состав твердого тела и наличие атмосферы, состоящей в основном из азота и метана, делают подобные ему тела вполне вероятными участниками процесса образования гигантских газовых планет Юпитера и Сатурна.

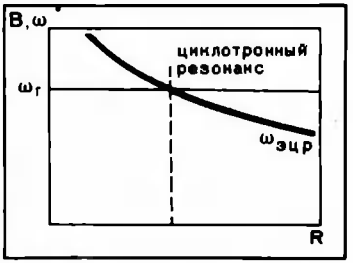
Nature, 1983, v. 304, № 5928, p. 691—694 (Великобритания).

Физика

Мощный нагрев термоядерной плазмы

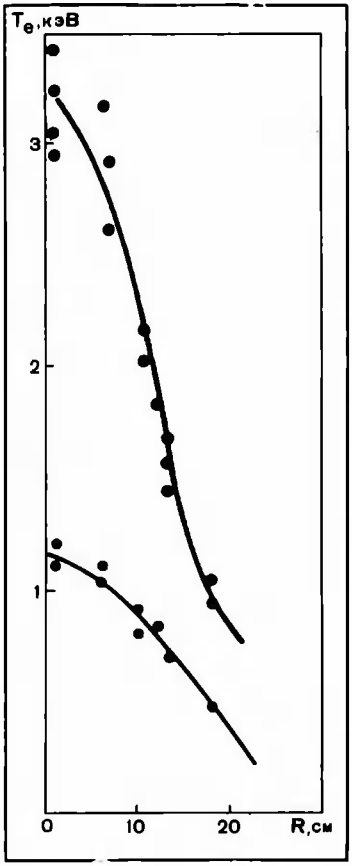
На токамаке Т-10 в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова проведен мощный нагрев плазмы с помощью электронного циклотронного резонанса. Известно, что электромагнитные волны, частота которых совпадает с частотой вращения электронов в магнитном поле (так называемая электронная циклотронная частота), сильно поглощаются электронами плазмы и могут быть использованы для нагрева до высоких температур. При характерных для экспериментов по магнитному удержанию плазмы магнитных полях (десятки килогаусс) электронная циклотронная частота соответствует миллиметровым электромагнитным волнам. Однако до недавнего времени использовать волны этого диапазона для нагрева плазмы было нельзя, так как отсутствовали соответствующие мощные генераторы.

В Институте прикладной физики АН СССР недавно были разработаны мощные мазеры на циклотронном резонансе (гиротроны), освоено их производство и в результате созданы целые гиротронные комплексы.



Зависимость магнитного поля B и совпадающая с ней зависимость электронной циклотронной частоты $\omega_{эцр}$ от большого радиуса тора R.

В эксперименте на Т-10 использовалось 6 гиротронов с суммарной мощностью около 1 МВт при длине волны 3,6 мм и длительности импульса излучения 0,1 с. Электромагнитная волна вводилась в плазму через волновод в экваториальной плоскости тора и распространялась в глубь плазмы по большому радиусу тора до области, где частота волны совпадала с циклотронной частотой. Поскольку магнитное поле токамака спадает по большому радиусу тора, то выбором тока в обмотках, создающих тороидальное поле, можно было перемещать зону совпадения частот (т. е. зону циклотронного резонанса) по радиусу плазменного шнура. В зоне резонанса происходило поглощение энергии электромагнитной волны электронами плазмы.



Распределение температуры электронов T_e по радиусу R плазменного шнура в токамаке Т-10 при циклотронном нагреве (цветная линия) и без него (черная линия). Область резонанса находилась на оси шнура; плотность плазмы в центре составляла $3 \cdot 10^{13}$ см$^{-3}$, ток в шнуре — 270 кА.

Как показали эксперименты, нагрев плазмы был достаточно хорошим при перемещении зоны резонанса в пределах 20 см от оси камеры. Температура электронов в центре плазменного шнура увеличилась в три раза (по сравнению с обычным омическим нагревом плазмы) и достигла 3 кэВ. Очень крутой градиент температуры, получаемый при электронном циклотронном нагреве благодаря локальному выделению мощности, позволяет более точно, чем раньше, измерить электронную теплопроводность и определить ее зависимость от температуры электронов (при температурах, близких к тем, которые необходимы для осуществления управляемого термоядерного синтеза).

Аномальное по сравнению с теоретическими предсказаниями поведение электронной теплопроводности представляет одну из самых интересных проблем в исследовании высоко-

температурной плазмы. Зависимость электронной теплопроводности от температуры при термоядерных параметрах в настоящее время неизвестна, и это вносит значительную неопределенность в оценку критических размеров термоядерного реактора. Проведенные эксперименты позволяют сделать важный шаг в решении этой проблемы.

Proceedings of the 4-th International Symposium on Heating in Toroidal Plasmas, Roma, 1984, v. 11, p. 753—762 (Италия).

•

Физика

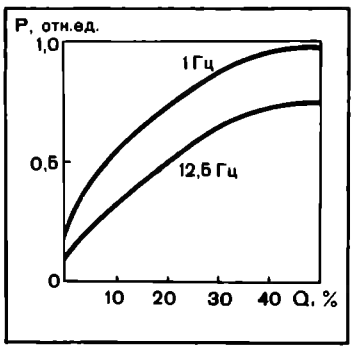
Мочевина в лазере на красителе

Весьма перспективно использовать в лазере на красителе (родамин 6Ж) в качестве растворителя воду, а не этанол, как обычно. Однако эффективность водного раствора родамина 6Ж как активной среды заметно снижается из-за ассоциации молекул родамина с образованием нелюминесцирующих комплексов, спектры поглощения которых частично перекрываются с полосой флуоресценции красителя. Квантовый выход родамина 6Ж при этом падает с 0,98 до 0,4.

Как показали А. А. Викторова, А. П. Савикин, В. Б. Цареградский (Горьковский университет), если в водный раствор родамина 6Ж добавить мочевину, поглощение ассоциативных комплексов падает, увеличивается интенсивность флуоресценции, а ее максимум сдвигается в длинноволновую область. По-видимому, мочевина в водном растворе оказывает сильное дезагрегирующее действие. При увеличении ее концентрации до 30—40 % порог генерации снижается в 3—4 раза, соответственно мощность генерации увеличивается почти в 10 раз.

Высокие термооптические свойства воды как растворителя в сочетании с дезагрегирующим действием мочевины позволили получить без прокачки раствора через кювету импульсно-периодический режим с частотой следования импульсов около 50 Гц и параметрами излучения, примерно такими же, как на этанольном растворе родамина 6Ж с непрерывной прокачкой рабочего вещества.

Квантовая электроника, 1983, т. 10, № 8, с. 1720—1722.



Зависимость мощности P лазера на водном растворе красителя (родамин 6Ж) от концентрации Q мочевины для двух частот следования импульсов.

Химия атмосферы

Моделируется эволюция земной атмосферы

В проблеме эволюции химического состава атмосферы Земли считается общепризнанным, что накопление кислорода происходило постепенно и этот процесс обеспечивал переход атмосферы Земли из восстановительного состояния в окислительное. Однако в представлениях о составе атмосферы на отдельных этапах ее развития имеются значительные расхождения; особенно это относится к восстановительному этапу.

А. А. Дроздовская (Институт геохимии и физики минералов АН УССР) предприняла попытку определить характер эволюции химического состава атмосферы Земли методом физико-химического моделирования на ЭВМ[1]. В основу расчетов были заложены разработанные ранее принципы термодинамического анализа минеральных систем. Задача решалась путем минимизации энергии Гиббса[2] в неоднородных мультисистемах; использовались также законы физической химии и равновесной термодинамики. Подобный подход основан на идее Р. Гаррелса: обратную картину химической эволюции Земли можно воссоздать путем удаления кислорода из современной системы океан—атмосфера—литосфера при титровании ее твердым углеродом.

По данным моделирования, в зависимости от содержания в системе кислорода было выделено 5 этапов эволюции земной атмосферы, которые резко различались физико-химической обстановкой. Дроздовская сопоставила эти этапы с определенными эпохами в развитии Земли: восстановительный этап отнесен ею к архею, переходно-восстановительный — к началу раннего протерозоя; барьерный, на котором происходит смена восстановительной обстановки на окислительную, ориентировочно отнесен к границе между ранним и средним протерозоем; переходно-окислительный — к последующим эпохам до начала современной; окислительный — к современной эпохе.

Как показал анализ, на восстановительном этапе в атмосфере преобладали N_2, CO_2 и H_2S; количество CH_4 не превышало количества CO_2 в современной атмосфере; H_2, NH_3, CO и окислы серы присутствовали в незначительных количествах. На переходно-восстановительном этапе концентрация всех восстановленных газов в атмосфере уменьшилась за счет

[1] Подробнее об этом методе см., напр.: Карпов И. К. Физико-химическое моделирование на ЭВМ в геохимии. Новосибирск, 1982.

[2] Энергия Гиббса — функция состояния термодинамической системы (изобарно-изотермический потенциал G); все процессы протекают самопроизвольно в направлении убывания G до достижения минимума, которому отвечает состояние термодинамического равновесия системы.

перехода их в окисленные газы или в результате растворения в океане. Двуокись углерода в бескислородной атмосфере играла роль буфера, регулировавшего как соотношение между составляющими атмосферу газами, так и равновесие в реагировавших с нею океанской воде и верхней части осадочной оболочки литосферы. На переходно - окислительном и окислительном этапах роль буфера в атмосфере начал играть кислород, в присутствии которого устойчиво существовать в атмосфере могли только N_2 и CO_2.

Доклады АН СССР, 1983, т. 273, № 1, с. 193—196.

Химия

Молекулярная масса полимера при замораживании увеличивается

Группа сотрудников Института элементоорганических соединений им. А. Н. Несмеянова АН СССР под руководством В. В. Коршака продолжила исследование влияния замораживания на особенности полимеризации мономеров в растворе[1]. Установлено, что при замораживании стирола и акриламида в различных растворителях (нитробензоле, нафталине, формамиде) в присутствии как радикальных, так и ионных инициаторов образуются полимеры с молекулярной массой в 3—4 раза большей, чем в реакции с участием тех же веществ, но в жидком растворителе. На величину молекулярной массы полимера влияют температура замороженного раствора, концентрация мономера и скорость охлаждения реагирующей системы.

По мнению авторов, образование высокомолекулярных полимеров в замороженных растворах обусловлено тем, что по мере вымораживания растворителя увеличивается концентрация растворенных веществ; в результате повышается вероятность эффективных соударений молекул мономера с растущим макрорадикалом или макроионом; в то же время более низкая температура уменьшает вероятность нежелательных побочных реакций, приводящих к обрыву полимерных цепей.

Таким образом, в замороженных растворах образование более длинных полимерных цепей происходит для различных мономеров, в различных растворителях и для разных по механизму реакций, что, вероятно, свидетельствует об общем характере обнаруженного явления.

Доклады АН СССР, 1983, т. 273, № 5, с. 1140—1143.

Молекулярная биология

Первый химический синтез природной РНК

Завершен крупный проект химиков из КНР: полный химический синтез биологически активной молекулы тРНК. Основная работа выполнена группой В. Дебао (W. Dēbao; Шанхайский институт биохимии Академии наук Китая).

За последние несколько лет химический синтез олигодезоксирибонуклеотидов с заданной последовательностью доведен до полностью автоматизированного уровня и получил широкое распространение в молекулярной биологии. Однако синтез аналогов рибо-ряда значительно более сложен из-за присутствия дополнительной 2′-гидроксильной группы у сахарного остатка. Поэтому стратегия, выбранная китайскими учеными, состояла в следующем: вначале химический синтез набора фрагментов с заданной последовательностью, затем их соединение с помощью ферментов. Эта стратегия в свое время с большим успехом была использована группой нобелевского лауреата Г. Кораны для синтеза гена тРНК.

Объектом синтеза была выбрана аланиновая тРНК из пекарских дрожжей. Ее молекула состоит из 76 мономерных звеньев, из которых 9 не являются каноническими (т. е. A, G, C, U), а представляют собой их модификации. Такие мономеры (их называют минорными) были получены каталитическим гидрированием, метилированием, дезаминированием канонических нуклеотидов, а также из природных источников. Встраивание в молекулу природных немногочисленных минорных нуклеотидов принципиально отличает эту работу от предыдущих попыток синтеза тРНК «в пробирке».

Ключевым для синтеза явилось использование двух ферментов: РНК-лигазы и полинуклеотидкиназы. Второй фермент способен фосфорилировать 5′-конец фрагмента РНК, но, к сожалению, обычно имеет и 3′-фосфатазную активность. Однако китайские ученые использовали мутантную форму фермента, которая утратила свою фосфатазную активность.

Так были собраны половинки молекулы; после того как их соединили, полученная целая тРНК была биологически активна в бесклеточной системе ретикулоцитов кролика.

Эта работа не только продемонстрировала возможность синтеза природных РНК, но и показала биологическую значимость минорных оснований. Теперь, имея в запасе набор блоков, содержащих различные миноры или не содержащих их вообще, можно попытаться установить функции отдельных минорных оснований.

Nature, 1983, v. 304, № 5925, p. 393 (Великобритания).

Вирусология

Витамин С и вирусы

В последние годы большое внимание привлекают бактерицидные свойства витамина С (аскорбиновой кислоты). Исследования в этом направлении

[1] Об образовании пространственно-сшитых полимерных структур при замораживании водных суспензий миофибриллярных белков и водного раствора полиакриламида с привитыми молекулами цистеина см.: Природа, 1982, № 11, с. 109.

велись давно, но результаты часто были противоречивы. Работа, выполненная группой авторов под руководством Г. Чапски (G. Czapski; Еврейский университет в Иерусалиме), прояснила имеющиеся противоречия. Установлено, что для осуществления токсического действия аскорбиновой кислоты на вирусы, во-первых, необходимо присутствие ионов переходных металлов (особенно меди), во-вторых, необходим кислород.

В экспериментах было показано, что просто окисление аскорбиновой кислоты в системе, где полностью отсутствуют ионы металлов, не приводило к гибели вирусов. С другой стороны, гибель вирусов могла наблюдаться в бескислородных условиях, если в систему вместе с ионами меди добавляли перекись водорода. Ионы меди, как выяснилось, сорбируются на поверхности вирусной частицы и, будучи в связанном состоянии, способны попеременно окисляться и восстанавливаться. Так, находясь в двухвалентном состоянии, медь может окисляться аскорбиновой кислотой и вслед за тем катализировать реакцию распада перекиси водорода (которая неизбежно образуется во всех клетках, потребляющих кислород) с образованием гидроксильных радикалов. Как известно, гидроксильные радикалы чрезвычайно реакционноспособны: они вызывают разрывы в нуклеиновой кислоте, разрушают генетический аппарат и тем самым приводят вирус к гибели. Однако время существования гидроксильных радикалов мало. Тем не менее, поскольку они образуются непосредственно на вирусной частице, это обеспечивает преимущественное повреждение вирусного генома.

European Journal of Biochemistry, 1983, v. 137, p. 119—124 (Западный Берлин).

Медицина

Дофамин и шизофрения

Английский биохимик Г. П. Рейнольдс (G. P. Reynolds; Эдденбрукская больница, Кембридж), изучая мозг людей, страдавших шизофренией, обнаружил, что в височных отделах левого полушария мозга значительно повышено содержание дофамина — одного из важнейших медиаторов[1]. Наиболее выражено это в так называемом миндалевидном ядре — скоплении нервных клеток, расположенном в глубине височной доли и играющем существенную роль в регуляции потребностной и эмоциональной сфер поведения. По содержанию других медиаторов эти зоны в левом полушарии больных шизофренией не отличались от соответствующих зон мозга здоровых людей. В правом миндалевидном ядре различий в содержании дофамина у болевших шизофренией и у контрольной группы не обнаружено.

Эти результаты подкрепляют сразу две концепции развития шизофрении. С одной стороны, они подтверждают мнение о связи этого заболевания с патологией левой височной области, основанное на высокой частоте шизофреноподобных расстройств у больных левосторонней височной эпилепсией. С другой стороны, дают дополнительное обоснование так называемой дофаминовой гипотезе, возникшей в связи с успехом лечения шизофренических психозов веществами, нормализующими метаболизм дофамина.[2]

Nature, 1983, v. 305, p. 527—529 (Великобритания).

[1] Медиаторы — группа биологически активных веществ (ацетилхолин, норадреналин, серотонин, гамма-аминомасляная кислота и др.), переносящих нервный импульс с одной нервной клетки на другую.

[2] Нарушение дофаминового обмена, конечно, не единственный фактор заболевания шизофренией. Об этом говорит далеко не полное соответствие между нормализацией дофаминового обмена и излечением шизофрении. Поэтому к «дофаминовой гипотезе» следует относиться с известной осторожностью.— *Прим. ред.*

Физиология

Простагландины — регуляторы сна!

Недавно открытые простагландины[1] (относятся к классу липидов) обладают чрезвычайно широким спектром физиологической активности. Один из простагландинов — так называемый простагландин D_2 — присутствует в мозге млекопитающих, что было обнаружено в 1977 г.[2] В последующие годы японские исследователи детально изучили его синтез и распад в мозге.

Р. Уено с соавторами (R. Ueno; Университет г. Киото), изучая действие простагландина D_2 на поведение крыс, обнаружили, что микроинъекции его в преоптическую область мозга (переднюю часть гипоталамуса) в дозе порядка 1 наномоля значительно удлиняли период медленноволнового («обычного») сна в последующие после инъекции 3 часа. Два других простагландина — E_2 и $F_{2\alpha}$ оказывали более слабый эффект. При введении простагландина D_2 в заднюю часть гипоталамуса эффект вовсе отсутствовал.

В следующей серии опытов крысам, используя специальный насос, производили медленное непрерывное введение растворов простагландина в III желудочек мозга и одновременно с помощью компьютера вели анализ многосуточных записей физиологических показателей в условиях свободного поведения животных. Увеличение медленноволнового сна наблюдалось при введении простагландина D_2 со скоростью 60 фемтомолей/мин (1 фемтомоль равен 10^{-15} долей) и возрастало с увеличением дозы до 6 пикомолей/мин (1 пикомоль

[1] За пионерскую работу по выделению и изучению простагландинов присуждена Нобелевская премия. Подробнее см.: Лауреаты Нобелевской премии 1982 года.— Природа, 1983, № 1, с. 90.

[2] Abdel-Halim M. S.— Prostaglandins, 1977, v. 14. p. 633.

равен 10^{-12} молей). При этом наблюдался максимальный эффект: по сравнению с контрольными введениями физиологического раствора продолжительность медленноволнового сна увеличилась на 1/3, а парадоксального[3] — на 80 %. Простагландин $F_{2\alpha}$ оказывал меньший эффект, а простагландин E_2 не влиял на последующий сон.

Если полученные данные подтвердятся на других видах животных, они будут иметь принципиальное значение для понимания биохимических механизмов регуляции сна.

Biochemical and Biophysical Research Communications, 1982, v. 109, № 2, p. 576—582; Proceedings of the National Academy of Sciences of the U. S. A. Biological Sciences, 1983, v. 80, № 6, p. 1735—1737 (США).

Психология

Роль формы напечатанного слова при чтении

Английские психологи А. Ф. Монк и Ч. Халм (A. F. Monk, Ch. Hulme; Лондонский университет) показали, что одним из факторов, определяющих быстрое узнавание слова и ответственных за ошибки при беглом просматривании текста, является печатная форма слова. Например, слово «слово» имеет форму , а слово «форма» — форму

Испытуемых просили быстро прочитать текст, в отдельных словах которого одна из букв либо изменена, либо отсутствовала. Опечатки чаще обнаруживались при замене буквы, чем при ее пропуске. В обоих случаях опечатки выявлялись значительно лучше, если пропускалась или заменялась буква большой высоты (такие как ф, р в русском алфавите и т. п.). При этом существенно менялась форма слова. Сходство или несходство букв по другим признакам, кроме высоты, оказывало незначительное влияние.

В другом эксперименте исследователи предъявляли слова, форма которых была заранее изменена путем случайного введения в каждое слово заглавной буквы (как это сделано в данном предложении). Количество обнаруженных опечаток уже не зависело в этом случае от высоты пропущенной или замененной строчной буквы. Такой результат, очевидно, связан с тем, что в этих необычных условиях привычная ориентация на форму слова невозможна. Кстати, в этой ситуации значительно уменьшилась скорость чтения — с 267 до 187 слов в минуту.

Memory and Cognition, 1983, v. 11, № 1, p. 16—23 (Великобритания).

Биохимия

Гипофизный гормон, стимулирующий секрецию инсулина

Гипофиз, небольшая железа, расположенная в головном мозгу человека и животных, подобно дирижеру, с помощью своих белковых и пептидных гормонов управляет функциями многих других желез в организме, причем работа каждой железы находится под контролем строго определенного гормона гипофиза. Так, кортикотропин (АКТГ) заведует функцией надпочечников, тиреотропин — щитовидной железой, гонадотропин — половыми железами и т. д. Когда в какой-либо из этих желез снижается уровень секреции собственных гормонов, гипофиз выбрасывает в кровь соответствующий гормон, и он стимулирует деятельность нужной железы.

До недавнего времени считалось, что поджелудочная железа, и в частности ее β-клетки, вырабатывающие гормон инсулин, не находятся под прямым контролем гипофиза. Не был известен и гипофизарный гормон, стимулирующий секрецию инсулина. Однако в последние годы появилось предположение, что в гипофизе присутствует вещество, стимулирующее деятельность β-клеток поджелудочной железы; но идентифицировать его до сих пор не удавалось.

Группа английских исследователей (кафедра биохимии Имперского колледжа науки и технологии, Лондон) выделила это вещество из экстракта гипофиза мышей с наследственной тучностью и установила, что оно представляет собой пептид, состоящий из 18 аминокислотных остатков, названный ими тропином β-клетки. Авторы предположили, что тропин β-клетки является продуктом ферментативного расщепления (в положении 21—22) более крупного пептида — фрагмента АКТГ, состоящего из 22 аминокислотных остатков и занимающего положение 18—39 в макромолекуле АКТГ.

Для проверки своего предположения исследователи подвергли ферментативному расщеплению синтетический пептид строения 18—39 АКТГ человека и аналогичный пептид, полученный из АКТГ мышей. Были выделены два пептида с последовательностью 22—39, идентичные по физико-химическим свойствам и биологическому действию.

Nature, 1983, v. 301, № 5897, p. 255—258 (Великобритания).

Биохимия

Зачем человеку нужны бактерии!

В организме человека и животных, главным образом в их кишечном тракте, обитает огромное количество бактерий. В состав их мембран входят пептидогликаны — широко распространенные у прокариот соединения. Недав-

[3] Парадоксальный сон — особое, периодически возникающее во время сна состояние организма теплокровных животных, характеризующееся чрезвычайно высокой активностью головного мозга и полным выключением мышечной системы; в сумме занимает 15—20 % всего сна. Подробнее см.: Природа, 1977, № 8, с. 28; 1982, № 8, с. 74.

но группа под руководством Л. Шедида (L. Chedid; Институт им. Пастера, Париж) и исследователи Медицинской школы Бостонского университета (США) установили, что иммуностимулятор N-ацетилмурамил - L - аланин - D - изоглютамин, принимающий участие в физиологических процессах организма (способствует так называемой медленной фазе сна), имеет химическую структуру, аналогичную мурамилдипептиду.

Этот пептид — составная часть пептидогликанов бактерий, высвобождается в результате их гибели и распада, т. е. в нормальных процессах, происходящих в полости кишечника. В утилизации продуктов распада бактерий активное участие принимают клетки иммунной системы — макрофаги, способствующие детоксикации организма; для работы этих клеток и необходим мурамилдипептид.

Это вещество, усиливающее медленный сон организма, было ранее выделено из мочи людей и животных. В то же время это соединение, выделяемое из стенок бактерий, используется как иммуностимулятор. На основании подобных сопоставлений авторы пришли к выводу, что пептидогликаны бактерий содержат определенные биологически активные вещества, необходимые для осуществления ряда физиологических функций в организме человека и животных.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 1983, v. 297, p. 209 (Франция).

Биология

Могут ли насекомые узнавать своих родичей?

Долгое время в науке бытовало мнение, будто насекомые неспособны узнавать друг друга «в лицо», все особи своего вида для них одинаковы. Конечно, общественные насекомые — муравьи, пчелы, осы — отлично умеют различать своих и чужих, узнавая особей своей семьи по общему запаху. Но это еще не индивидуальное узнавание. В последние годы стали появляться экспериментальные свидетельства, указывающие на способность некоторых общественных насекомых опознавать особей своего вида, а также различать насекомых разного происхождения, т. е. родственных и неродственных данной особи. В этой связи интересны исследования, проведенные в США группой биологов под руководством Дж. Гамбоа (G. J. Gamboa) на осах-полистах (Polistes Fuscatus).

Осенью самки ос были помечены индивидуальными метками, позволявшими различать сестер и неродственных особей. Затем они перезимовали в искусственных или природных условиях. В первой серии экспериментов перезимовавшие самки-основательницы (т. е. самки, способные самостоятельно основать семью) содержались весной в общих садках, и за ними велись регулярные наблюдения. Если две и более ос садились рядом, то, как правило, это были осы-сестры, а неродственные осы гораздо реже располагались бок о бок. В другой серии экспериментов самок помещали в специальные гнездовые садки, где они вскоре начинали сооружать свои бумажные гнезда. При этом осы обычно объединялись в группы и основывали гнезда совместно, что очень характерно для многих видов полистов. Оказалось, что из 18 образовавшихся групп 16 состояли исключительно из ос-сестер и только две группы включали неродственных особей. Следовательно, осы способны узнавать родственников и предпочитают их другим осам при основании гнезда.

Исследователи задались целью определить, могут ли осы различать гнезда, построенные родственными и неродственными самками, а также их потомство — яйца, личинок, куколок. Весной в природных условиях было размещено 150 ящичков, в большинстве из которых вскоре загнездились помеченные прошлой осенью полисты. Через несколько недель, когда в гнездах уже был многочисленный расплод, ос на время отгоняли от гнезд и в это время меняли местами гнездовые ящички. Возвращавшиеся осы находили на том же месте точно такой же ящичек, но с чужим, хотя и очень похожим гнездом. В зависимости от того, чье это гнездо, осы вели себя по-разному. Если это было гнездо их сестры, они всегда принимали его и продолжали воспитывать расплод, т. е. своих личинок-племянниц; только в 6 случаях из 24 отмечено поедание некоторого количества яиц и личинок. Напротив, в случаях, когда собственное гнездо заменялось гнездом неродственной самки, осы проявляли явную враждебность к расплоду: в 30 случаях из 34 они поедали все яйца и личинок, оставляя только куколок и некоторых старших личинок, а в 12 случаях вскоре покидали чужое гнездо. Значит, осы очень хорошо различают гнезда и потомство родственных и неродственных им самок.

Canadian Entomologist, 1983, v. 115, № 6, p. 655 (Канада); Science, 1983, v. 221, № 4609, p. 482 (США).

Биология

Короед вторгся в Великобританию

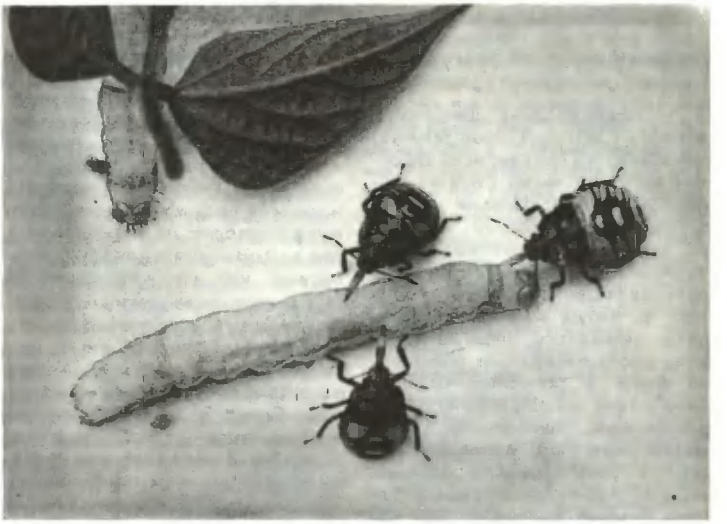
Летом 1982 г. на Британских о-вах впервые появился большой еловый короед (Dendroctonus micans). Этот жучок длиной всего в 1 см (хотя для короеда это немало) был замечен в Ладлоуском лесу (графство Шропшир), вблизи границы Англии с Уэльсом. Уже к осени 1983 г. он широко распространился, захватив бо́льшую часть Уэльса, западный Мидлендс, графство Глостершир. Вредитель заселяет ели, достигшие примерно 25-летнего возраста. Самка прогрызает в коре (лубе) маточный ход и откладывает в нем яички. Вылупляющиеся из них личинки продолжают поедать ткани луба, оставляя за собой личиночные ходы. Наиболее активен жук весной и летом. Вскоре у пораженного им дерева верхушка начинает сохнуть, дятлы приступают к оголению ствола от коры. С потерей

коры судьба дерева, конечно, предрешена[1].

Комиссия специалистов-энтомологов установила, что пока в Великобритании короедом поражено не более 20 тыс. деревьев (как известно, ель в этой стране разводится широко, хотя в природной флоре отсутствует). Однако опыт Франции, ФРГ, Дании и Голландии, где этот жук поселился раньше, говорит о возможности быстрого распространения эпидемии и в Англии. Первые меры приняты: заболевшие деревья очищаются от пораженной коры и опрыскиваются; в районах с сильной степенью зараженности ведется выборочная рубка; вывоз древесины из района эпидемии запрещен, импорт еловой древесины ограничен, а коры — полностью прекращен. Вся ввозимая в страну древесина подлежит очистке от коры. Стоимость принятых мер уже превысила 750 тыс. ф. ст. На состоявшейся в Лондоне конференции дендрологов и энтомологов рассматривались дальнейшие меры против распространения эпидемии.

New Scientist, 1983, v. 100, № 1385, p. 562 (Великобритания).

[1] Короед большой еловый встречается и в СССР. Он связан исключительно с хвойными породами. Это самый крупный короед на территории нашей страны.— Прим. ред.



Нимфы клопа Podisus sp., совместно питающиеся крупной гусеницей вощинной моли.

Этология

Кооперация у пауков и клопов

Интересные примеры кооперации обнаружили энтомологи у таких, казалось бы, одиночных насекомых, как пауки и клопы.

Большинство видов пауков ведет индивидуальный образ жизни, охотясь и уничтожая добычу в одиночку. Известно всего несколько видов, которые строят общую сеть, делят между собой добычу и даже проявляют некоторую заботу о потомстве. А вот паук Metepeira spinipes, обитающий в субтропических лесах Мексики, строит сеть индивидуально, но затем обычно сооружает к ней пристройку, которая соединяет его сеть с соседской[1]. Такие системы тенет могут объединять постройки 6—7 тыс. особей, позволяя одолевать достаточно сильную жертву (вырвавшаяся из одной сети, она тут же попадает в другую). Но потребляют добычу и охраняют гнезда эти пауки индивидуально. Такое «полуобщественное» поведение, очевидно, является важным звеном в эволюционном развитии общественного поведения пауков.

У другого хищника — клопа-редувия Agriosphodorus dohrni — кооперация обнаружена на стадии нимф, которые живут стаями[2]. Общими усилиями нимфы способны одолеть намного более крупную, чем они, жертву. Не раз удавалось нам наблюдать совместное потребление добычи у нимф американского клопа Podisus sp., которого разводили в лаборатории для последующих испытаний в качестве агента биологической борьбы с вредителями. Мы не можем утверждать, что кооперация помогала маленьким охотникам овладевать жертвой, но, несомненно, способствовала рациональному использованию крупной добычи, съесть которую в одиночку невозможно.

Интересно, что при недостатке пищи кооперация и у пауков, и у клопов ослабевает. Например, в пустыне паучьи колонии насчитывают не больше 3—4 особей, словно пауки знают, что в неблагоприятных условиях большая система сетей неэффективна. Или еще пример: нимфа клопа A. dohrni, завладев добычей в одиночку, не позволяла собратьям питаться рядом с собой, если добыча была мала.

Отмеченная пластичность — важная особенность поведения многих беспозвоночных; она, очевидно, сыграла существенную роль в становлении социальности у этих животных.

В. М. Карцев
Москва

[1] Uetz G. W., Kane T. C., Stratton G. E.— Science, 1982, v. 217, № 4559, p. 547.
[2] Inoue H.— Res. pop. Ecol., 1982, v. 24, № 2, p. 211.

Зоология

Почему лиса не замужем!

Исследования шведского зоолога Т. Шанца (T. von Schantz) показали, что численность взрослых красных лисиц (Vulpes vulpes) в южной Швеции может оставаться стабильной, несмотря на существенные колебания численности основных объектов питания (в данном случае — кроликов). Когда количество кроликов снижалось, лисы не покидали своих охотничьих участков, не было и погибших особей. Зато резко сокращался процент размножавшихся самок: примерно половина взрослых лисиц не участвовала в размножении. Адаптивный смысл такого явления очевиден: при недостатке пищи выкормить молодняк невозможно; в то же время вероятность выживания взрослых особей возрастает.

Кроме того, автору удалось заметить, что многие холостые лисы в голодные годы оставались жить в непосредственной близости от семей с выводками. Мечение показало, что это, как правило, близкие родственники семейных особей — обычно их дети из предыдущих пометов или же братья и сестры. По мнению автора, такое давнее знакомство резко снижает вероятность агрессивных контактов на охотничьем участке семейной пары, косвенно способствуя выживанию молодняка.

Оказалось, что если голодные годы следуют один за другим, то описанная система может обеспечить даже заметное возрастание процента выживших лисят, несмотря на недостаток добычи.

Oikos. Acta oecologica scandinavica, 1984, v. 42, № 1, p. 59—65 (Дания).

Ботаника

Растение-паразит против растения-паразита

Своеобразное семейство цветковых растений — лорантовые (Loranthaceae) состоит из мелких кустарников, паразитирующих на ветвях деревьев. Произрастают они преимущественно в тропиках.

В предгорьях Гималаев часто встречается растение-паразит скуррула сердцевиднолистная (Scurrula cordifolia). Поселяясь на фруктовых деревьях и ценных лесных породах, скуррула приводит их к гибели или так деформирует деловую древесину, что ее использование становится невозможным. Прежде скуррула встречалась лишь на западных склонах Гималаев, но начиная с 70-х годов она распространилась в область холмов Сивалик (южную, самую низкую ступень Гималаев в Индии и Непале), где также поражает многие виды деревьев и кустарников, включая весьма ценные породы деревьев, такие как Ougenia oojeinensis (из семейства бобовых). Попытки использовать гербициды желаемого результата не дали ввиду высокой цены и трудности применения в условиях лесных массивов.

В 1972 г. И. Пундир (Y. Pundir; Дехрадунский колледж в штате Уттар-Прадеш, Индия), изучая другой вид растения-паразита — омелу ремнецветниковую (Viscum loranti) из близкородственного омеловым семейства ремнецветниковых, обнаружил, что этот вид способен паразитировать на скурруле. В течение 8 лет омела — паразит второго порядка по отношению к скурруле — паразиту первого порядка, широко распространилась, и сейчас ею поражены в этой местности большинство растений скуррулы. Подобное явление, когда один вид растения-паразита селится на другом, довольно широко распространено в семействах омеловых и ремнецветниковых.

Установлено, что клейкие семена омелы ремнецветниковой могут прикрепляться к коре многих деревьев, но проростки омелы способны развиваться только на ветвях скуррулы и других ремнецветниковых. Примерно через год после поражения омелой скуррула гибнет или сильно ослабляется внедрившимся паразитом. Выживаемость скуррулы зависит от двух факторов: ее возраста и силы воздействия омелы. Молодые кусты скуррулы сильнее подвержены воздействию паразита, но выживаемость и молодых, и старых растений зависит от числа проростков омелы, поселившихся на их ветвях.

Благодаря воздействию омелы популяция скуррул в районе Сиваликских холмов ныне резко снизилась. Поскольку омела ремнецветниковая способна поражать только представителей семейства ремнецветниковых, можно с полной безопасностью переселять омелу в новые области, где она будет паразитировать только на вредных растениях из семейства ремнецветниковых, не поражая другие растения.

Weed Research, 1983, v. 21, p. 233; New Scientist, 1983, v. 97, № 1343, p. 306 (Великобритания).

MAB Охрана природы

Британские леса

В Англии в Уэльсе в 1983 г. проведена перепись лесов. Она показала, что прежние опасения, будто посадки хвойных пород сильно потеснили широколиственные, необоснованны: за последние 40 лет площади под широколиственными лесами не сократились. Вместе с тем отмечается падение количества дубов и общее опасное постарение деревьев. Возраст 1/3 английских лесов ныне превышает 80 лет.

Общественные природоохранительные организации указывают на значительные различия, существующие между старыми, т. е. произраставшими до 1600 г., полуестественными широколиственными лесами и более молодыми посадками таких пород: по сравнению с первыми во вторых резко падает заселенность различными видами животных, сокращается растительное разнообразие.

С 1974 г. примерно половина старых лесов была вырублена вообще или заменена лесопосадками. Так, в графстве Нортхемптоншир 10 % средневековых лесистых площадей,

еще существовавших к 1946 г., затем были вырублены для нужд сельского хозяйства или ради строительства шахт, а 54 % заменены молодыми лесопосадками; графство Шропшир потеряло 63 % старых лесов, Корнуолл — 46 % и т. д.

Хотя принятые палатой лордов резолюции и требуют сохранения всех древних лесов Британии, лишь менее половины их площадей эффективно охраняется законом как «места, представляющие особый научный интерес». Общественные организации страны призывают государственную Комиссию по лесному хозяйству принять меры по охране остальных занятых лесами площадей.

New Scientist, 1983, v. 100, № 1385, p. 562 (Великобритания).

Экология

Интоксикация детей свинцом через почву

Группа американских специалистов (H. W. Mielke, J. C. Anderson, R. J. Berry, P. W. Mielke, R. L. Chaney, M. Leech) изучала факторы, определяющие корреляцию между степенью свинцовой интоксикации детей и уровнем урбанизации. С этой целью проанализировано содержание свинца в 422 пробах почвы из скверов, расположенных в радиусе около 50 км от центра гг. Балтиморы (штат Мэриленд) — типичного промышленного центра США. Во всех пробах обнаружено относительно большое количество свинца (примерно 100 мкг/г почвы), свидетельствующее о способности этого металла накапливаться в почве.

Высокий уровень загрязнения свинцом почвы в Балтиморе связан с тем, что, по данным городских служб, с 1961 по 1981 г. предприятия и транспортные средства выбросили в окружающую среду около 5 т свинца. Известно, что свинец проникает в организм детей через кожу примерно в 6 раз интенсивнее, чем у взрослых людей, а выводится менее активно. Кроме того, контакт детей с загрязненной почвой в городах в силу особенностей их поведения тоже больше, чем у взрослых. Подсчитано, что при существующем в Балтиморе уровне загрязнения почвы свинцом возможность его проникновения в организм детей возрастом от 6 месяцев до 2 лет возрастает вдвое. Таким образом, высокое содержание свинца в городской почве в первую очередь представляет опасность для здоровья детей. Высказывается мнение, что отмеченное в целом ряде работ последних лет нарастание свинцовой интоксикации у городских детей сопряжено именно с накоплением этого металла в почве промышленных городов и проникновением в организм детей при их играх на улице или скверах.

American Journal of Public Health, 1983, v. 73, № 12, p. 1366—1369 (США).

Экология

Ассимиляционная емкость Мирового океана

Антропогенное загрязнение Мирового океана сказалось на природной способности морских экосистем к самовоспроизводству и саморегулированию; особенно это чувствуется в областях устойчивого загрязнения тяжелыми металлами, хлорированными и нефтяными углеводородами. Очевидна необходимость экологического нормирования антропогенного воздействия. Для определения экологического резерва океана и осуществления экологического нормирования важное значение имеет концепция ассимиляционной емкости Мирового океана, которую выдвинули Ю. А. Израэль и А. В. Цыбань (Госкомгидромет СССР).

Ассимиляционная емкость морской экосистемы по отдельным токсичным веществам (или по их сумме) определяется как максимальная динамическая вместимость такого количества токсикантов (в системе в целом или в единице объема), которое может быть за единицу времени накоплено, разрушено, трансформировано и выведено за пределы объема экосистемы без нарушения ее нормального функционирования. Ассимиляционная емкость зависит от многих природных и антропогенных факторов. Среди природных явлений, за счет которых происходит самоочищение морской среды, основную роль играют гидродинамический перенос (течения, турбулентная диффузия и т. п.), гравитационное осаждение, физико-химическое и биологическое трансформирование и разрушение токсичных веществ, в том числе биохимическое и микробиологическое окисление, причем результативность микробного окисления парафиновых, ароматических и хлорированных углеводородов в морской среде значительно превышает результативность процессов физико-химической и биохимической их трансформации. Так, изотопные и химические анализы показали, что в сутки микроорганизмы способны разрушить в Японском море до 5 мкг/л, а в Беринговом — около 2 мкг/л парафинового углеводорода октадекана. В том же холодном Беринговом море микроорганизмы ежесуточно разрушают около 0,4 мкг/л бенз(а)пирена (ароматический углеводород), который в Балтийском море разрушается со скоростью примерно 0,55 мкг/л, в Северной Атлантике — 0,23 мкг/л, а в Тихом океане (Марианская впадина) — 0,1 мкг/л в сутки. Бактерии приповерхностных вод океана окисляют за год примерно 1,6 млн т нефтяных углеводородов (25 % от общего количества нефти, попадающей в океанскую среду).

В процессах гравитационного осаждения и захоронения загрязняющих веществ в донных осадках роль биологических факторов столь же велика. Доля биогенных частиц (фрагменты отмерших организмов) составляет не менее 90 % общего количества взвешенных частиц ($\sim 10^{16}$ г), покидающих продуктивную зону океана и оседающих на его ложе. Взвешенные частицы (размером от не-

скольких единиц до сотен мкм), адсорбирующие вредные вещества, содержат тяжелые металлы, хлорированные и нефтяные углеводороды в концентрациях на 3—4 порядка больших, чем концентрации этих же токсикантов в окружающей воде. Рассчитано, что биоседиментационный вынос таких токсикантов, как ртуть, свинец, бенз(а)пирен, ежегодно составляет $3{,}2 \cdot 10^5$, $4{,}6 \cdot 10^3$ и $3{,}2 \cdot 10^3$ т, соответственно, при глобальном поступлении этих веществ в Мировой океан в количестве $2{,}3 \cdot 10^6$, $1{,}0 \cdot 10^4$ и $3{,}5 \cdot 10^3$ т в год. Эти оценки показывают, что экологические резервы Мирового океана (в частности, ассимиляционные емкости по указанным токсикантам его наиболее продуктивных слоев, где активно протекают биологические процессы самоочищения) сопоставимы с антропогенными нагрузками, что подчеркивает актуальность постановки вопроса о нормировании антропогенного воздействия на морские экосистемы.

Доклады АН СССР, 1983, т. 272, № 3, с. 702—705.

Геология

Переоценка мировых запасов нефти

До сих пор специалисты оценивали разведанные мировые запасы нефти (имея в виду разработку экономически целесообразных залежей) примерно в 723 млрд баррелей, а предполагаемые запасы еще не разведанных месторождений — в 1417 млрд баррелей (1 баррель = 159 л). Однако сотрудники Управления геологической съемки США Ч. Д. Мастерс, Д. Рут и У. Д. Дицман (C. D. Masters, D. Root, W. D. Dietzman) подвергли эту оценку существенному пересмотру.

Начиная с 60-х годов, указывают авторы, количество новых разведанных запасов нефти ежегодно сокращалось, снизившись примерно с 38 млрд баррелей в год в начале этого периода до 10—12 млрд баррелей в год в настоящее время (снижение темпов обнаружения новых месторождений нефти авторы иллюстрируют данными по всем странам, за исключением США, Канады и социалистических стран). Если в начале 50-х годов каждая «наугад» пройденная скважина приносила в среднем около 23 млн баррелей нефти, то ныне — не более 10 млн баррелей. Все это позволило авторам утверждать, что предположение, будто неразведанные мировые запасы нефти достигают 1417 млрд баррелей, вероятно лишь на 5 %; с другой стороны, можно быть уверенным на 90 %, что эти запасы составляют не менее 321 млрд баррелей. По их расчетам, наиболее близка к истине величина около 550 млрд баррелей (при этом они из рассмотрения исключают потенциальные запасы тяжелой нефти, нефтеносных и битуминозных сланцев, поскольку не считают их экономически пригодными для широкой эксплуатации в течение ближайшего времени).

Если существующие ныне темпы добычи и обнаружения новых нефтяных залежей сохранятся, то, по мнению авторов, уже разведанных запасов (723 млрд баррелей) плюс 550 млрд баррелей, которые, возможно, будут найдены в ближайшие годы, должно хватить всего на 50 лет.

Episodes, 1984, v. 7, № 1, p. 58. (Канада)

Геология

Геолого - геофизические исследования в Баренцевом море

Академией наук и ее Кольским филиалом в 1980—1982 гг. проводились геолого-геофизические исследования в Баренцевом море и отчасти в Норвежско-Гренландском бассейне. Работы велись с научно-исследовательских судов «Профессор Штокман» Института океанологии им. П. П. Ширшова (рейсы 4, 6 и 8) и «Дальние Зеленцы» Мурманского морского биологического института (рейс 13). В экспедициях был выполнен большой объем батиметрических, геомагнитных, геотермических, сейсмических и литологических исследований.

Баренцевоморский шельф, особенно в его восточной части, ранее был изучен слабо. Ныне выяснено, что в восточной половине Баренцевоморской плиты расположена обширная тектоническая депрессия. Она имеет ширину около 250 км и протягивается на расстояние свыше 1100 км от Земли Франца Иосифа на севере до Тиманской гряды на п-ове Канин. Депрессия отчетливо разделена на две впадины седловиной, вытянувшейся в широтном направлении в районе 74° с. ш. По данным глубинного сейсмического зондирования, кровля кристаллического фундамента в пределах депрессии ступенями погружается к ее оси. В центральной части депрессии глубина залегания фундамента составляет 10—11 км. Поверхность Мохоровичича (раздел коры и мантии) там же поднимается до 42—44 км, тогда как на остальной части плиты эта граница расположена на глубине 48—50 км. Сейсмические исследования позволили выделить в пределах осадочной толщи Баренцевоморской плиты три различных структурных этажа.

Между описанной депрессией и архипелагом Новая Земля исследован еще один тектонический элемент — массивное поднятие фундамента (вал), названный Адмиралтейским.

Основным источником современных донных осадков открытой части Баренцева моря является преимущественно тонкая взвесь, которая осаждается главным образом во впадинах. В прибрежных частях отлагается более грубый материал, в том числе и продукты ледового разноса. В 8-м рейсе судна «Профессор Штокман» впервые для Баренцевоморского шельфа описаны турбидитные отложения, имеющие ритмическое строение. Это указывает на существование в недавнем прошлом эпизодов тектонической нестабильности региона.

Проведенные геолого-геофизические исследования позволяют выполнить тектоническое районирование Арктического шельфа в районе Баренцева моря.

Океанология, 1984, т. XXIV, вып. 1, с. 182—184; 185—188; 188—189.

Геология

94-й рейс «Гломара Челленджера»

В задачу 94-го рейса, который начался 17 июня 1983 г. в Норфолке (США) и завершился 17 августа в порту Сент-Джонс (о. Ньюфаундленд, Канада), входило бурение на меридиональном разрезе в Северной Атлантике, с тем чтобы получить там с помощью гидравлического пробоотборника ненарушенные колонки осадков максимальной длины, необходимые для палеоклиматического анализа. Разрез (скважин 606—611) пересек все основные фронтальные зоны водных масс Северной Атлантики: он начался в теплых водах к югу от Азорских о-вов и завершился в холодных водах на широте Ирландии. Научное руководство в рейсе осуществляли Р. Кид (R. Kidd; Институт океанографических наук, Уормли, Великобритания) и У. Раддимэн (W. Ruddiman; Геологическая обсерватория им. Ламонта и Доэрти, Палисейдс, США)[1].

Почему для изучения истории климата Земли была выбрана северная часть Атлантического океана? Район исследований, располагавшийся на восточном склоне Срединно-Атлантического хребта, между 37 и 53° с. ш., характеризуется самым интенсивным в мире обменом тепловой энергией между поверхностью океана и атмосферой в зимнее время года. Поверхностные воды весьма чувствительны к климатическим изменениям, а в донных отложениях эти изменения как бы «записываются», накапливая информацию обо всех событиях, происходивших в Северном (преимущественно континентальном) полушарии в геологическом прошлом. Это в равной мере относится и ко всем фазам ледникового периода, и к событиям более далекого прошлого, таким как изоляция и осушение Средиземного моря, образование перемычки между Северной и Южной Америкой и возникновение течения Гольфстрим и т. д.

Район работ «Гломара Челленджера» в 94-м рейсе.

До начала ледникового периода (2,4 млн лет назад) на всей территории дна, где велись работы в этом рейсе, шло накопление нанопланктонного мела. На широте Азорских о-вов и южнее их (скважины 606 и 607) даже в ледниковый период отлагался мел — это свидетельствует о том, что плавающий лед до этих широт не спускался. Севернее же Азорского архипелага периодам наступления ледников соответствуют горизонты глинисто-мергелистых отложений, а в межледниковья накапливались нанопланктонные илы.

Скорость накопления осадков в скважинах 606—611 оказалась довольно высокой, хотя причины этого различны. На флангах Срединно-Атлантического хребта (скважины 606, 607 и 609) она составляла 45—75 м/млн лет, что необычно для глубоководных частей океана. Участники рейса считают, что первоначально осадки накапливались на возвышениях дна, а затем придонными течениями были снесены в локальные впадины, где и отложились окончательно. В скважинах 610 и 611, где скорости седиментации достигают тех же величин, причина их иная: здесь они объясняются переносом и затем переотложением осадков, поступающих с континентальных окраин Европы, плато Роколл и Фарерo-Шетландского порога.

На скважинах 610 и 611 следует остановиться особо. Здесь обширные поля мощных осадочных отложений напоминают песчаные дюны. Высотой в несколько десятков метров, они протянулись по дну океана на расстоянии 1—2 км одна от другой. Среди специалистов давно велась дискуссия относительно их структуры, состава слагающих их пород, способности перемещаться подобно дюнам на побережьях или барханам в пустынях. Бурение проводилось на двух крупнейших дюнных полях Северной Атлантики: Гардарском — у восточного склона Срединно-Атлантического хребта и Фенийском — на континентальной окраине Европы. К удивлению участников рейса, в разрезах не обнаружено ожидавшихся признаков придонных течений, которые могли бы принести и отложить обильный осадочный материал. В нем не содержится илистых пород сухопутного происхождения; это типично глубоководные осадки с малым количеством грубого материала (если не считать осевшего в результате таяния айсбергов). Поскольку в осадках не найдено никаких свидетельств эрозии, вызванной течениями,

[1] JOIDES Journal, 1984, v. X, № 1, p. 1—8; Deep Sea Drilling Project, 1983, № 337, p. 1—4.

специалисты приходят к выводу, что дюны в настоящее время не перемещаются. Вероятно, переотложение осадочных пород из средних в высокие широты осуществляется в северной части Атлантики не путем их «дрейфа», а представляет собой более длительный и мелкомасштабный процесс.

На основе результатов бурения определен возраст и происхождение важных для Северной Атлантики отражающих границ, установленных по данным непрерывного сейсмического профилирования на большой площади. В скважине 610 отражающей границей оказался горизонт кремнистого мела, расположенный на глубине около 650 м ниже уровня дна; возраст этого горизонта около 20 млн лет (конец раннего миоцена). В скважине 611 сейсмическая граница отражает изменение океанографических условий в палеоокеане: в это время (около 6 млн лет назад, мессинский век) произошло отделение Средиземного моря от Атлантического океана и в условиях изменившейся циркуляции водных масс упала скорость накопления осадков.

Скважина 608 пробурена во впадине, ранее названной Королевским трогом. Здесь на борт судна был поднят полный разрез пород начиная от современных осадков до отложений конца среднего эоцена (42 млн лет назад), что совпадает с предварительными данными о возрасте этого участка дна, полученными на основании анализа магнитных аномалий.

А. Е. Сузюмов,
кандидат геолого-минералогических наук

Москва

Метеорология

Первый кругосветный полет монгольфьера

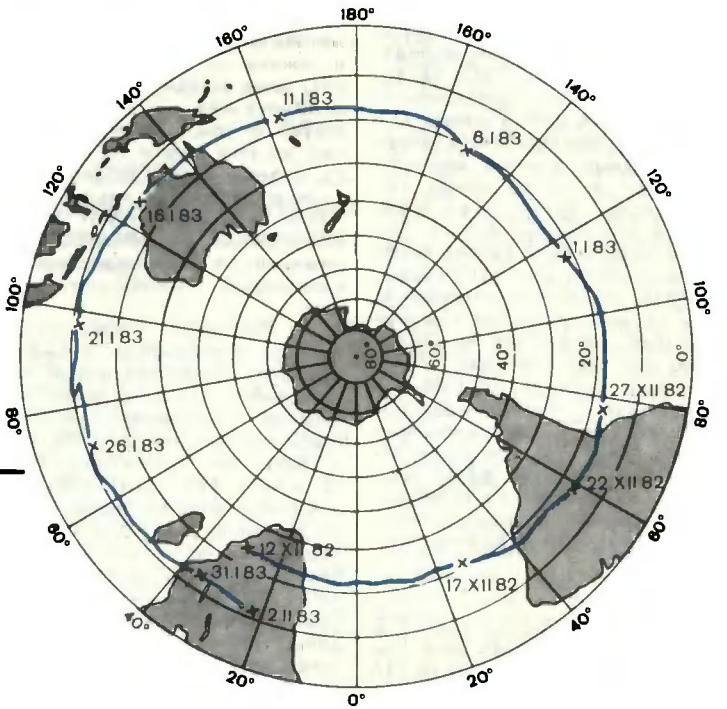
В последние годы во Франции по инициативе Д. Бламона (D. Blamont), директора службы аэрономии Национального центра космических исследований (КНЕС), проведены эксперименты, доказавшие возможность кругосветных полетов воздушных шаров — монгольфьеров.

Это открытые снизу воздушные шары, подъемная сила которых обеспечивается поддержанием содержавшегося в оболочке газа при более высокой температуре, чем в окружающей стратосфере. Простой металлизацией верхней половины шара создается своего рода местный «парниковый эффект»: поглощая поток инфракрасного излучения Земли, воздух в оболочке не имеет возможности быстро охлаждаться за счет переизлучения получаемого тепла в направлении более холодной верхней полусферы. Таким образом, подъемная сила сохраняется в течение длительного времени, хотя и меняется ото дня к ночи, что приводит к уменьшению высоты полета в ночное время.

Три первых монгольфьера были запущены в 1981 г., один из них летал 17 дней. Объем такого шара, наполняемого гелием, около 36 тыс. м^3, грузоподъемность примерно 200 кг, из них 65 кг приходятся на долю научных приборов. КНЕС намерен использовать такие «инфракрасные» монгольфьеры для проведения разнообразных экспериментов в стратосфере.

Шар, запущенный из Претории (ЮАР) 12 декабря 1982 г., под действием летних ветров в стратосфере устойчиво и с почти постоянной скоростью (9 м/с) дрейфовал в западном направлении и, оставаясь в течение 53 сут. в зоне от 10 до 25 ° ю. ш., опустился 2 февраля 1983 г. в районе недалеко от стартового. Высота полета ото дня к ночи менялась приблизительно в два раза (34—17 км). Шар опустился из-за того, что попал в зону высокой облачности, не создающей ночью достаточного лучевого подогрева.

Научная информация о стратосфере передавалась с шара на Землю через американские спутники «Тайрос Н» и «НОАА-6». Лабораторией дина-



Траектория полета «инфракрасного» монгольфьера.

мической метеорологии и службой аэрономии разрабатываются программы экспериментов и контейнеры с аппаратурой для следующих полетов.

Bulletin of the American Meteorological Society, 1983, v. 64, № 9, p. 1058—1059 (США).

География

Крупнейшие карстовые полости мира и СССР

Экспедиции спелеологов год от года уточняют глубину и длину исследуемых пещерных систем. Происходит это за счет расчисток завалов, преодоления сифонов в подземных водотоках, обнаружения новых, выше расположенных входов и т. п. Н. А. Гвоздецкий (Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова) приводит новейшие данные о размерах карстовых пещер и пропастей мира, которые дополняют глобальный обзор по этим системам[1].

[1] Гвоздецкий Н. А. Карст. М., 1981.

Благодаря исследованиям последних лет советских спелеологов карстовые полости на территории нашей страны оказываются в одном ряду с величайшими пещерами и пропастями мира. Так, самая глубокая на территории СССР пещера Снежная (1335 м)[2] занимает третье место в мире после таких величайших пропастей, как Жан-Бернар (Франция, Савойские Альпы) — 1494 м и Сима де-лос-Пуэртас (Пуэртас де Ильямина; Испания, Пиренеи, Уэска) — 1338 м. Длина Снежной 13,9 км; в списке самых длинных пещер на территории нашей страны она стоит на шестом месте.

Вестник Московского университета, 1984, № 1, с. 89—91.

Самые длинные карстовые пещеры мира (суммарная длина более 50 км)

№ п/п	Название	Суммарная длина, км	Место нахождения
1	Флинт-Мамонтова	361,6	США, Кентукки
2	Оптимистическая	150,4	СССР, Подолия
3	Хёллох	139,3	Швейцария, Альпы
4	Джуэл	107,2	США, Южная Дакота
5	Озерная	104,8	СССР, Подолия
6	Золушка	76	СССР, Буковина
7	Охо Гуаренья (Паломера-Доленсиас)	61	Испания, Бургос
8	Орган (Гринбрайер)	58,2	США, Западная Виргиния
9	Тромба система	54	Франция, Пиренеи

Глубочайшие карстовые пропасти и пещеры СССР (глубина более 500 м)

№ п/п	Название	Глубина, м	Место нахождения
1	Снежная	1335	Кавказ, Бзыбский хр.
2	Напра	956	Кавказ, Бзыбский хр.
3	Киевская	950	Средняя Азия, Зеравшанский хр.
4	Куйбышевская	750	Кавказ, Гагрский хр.
5	Пионерская	700	Кавказ, Бзыбский хр.
6	Пантюхина	650	Кавказ, Бзыбский хр.
7	Меженного	630	Кавказ, Бзыбский хр.
8	Перовская	600	Кавказ, Гагрский хр.
9	Уральская	580	Средняя Азия, хр. Байсунтау
10	Заблудших-Ручейная	536	Кавказ, хр. Алек
11	Ноктюрн	530	Кавказ, Бзыбский хр.
12	Парящая птица	517	Кавказ, массив Фишт
13	Солдатская	510	Крым, Карабийяйла

Океанология. Метеорология

Новый метеоролого-океанологический проект

Комитет по исследованию климата Национального исследовательского совета США, возглавляемый геофизиком Дж. Смагоринским (G. Smagorinsky), разработал проект ENSO (El Niño—Southern Oscillation — Эль-Ниньо — Южная осцилляция), ставящий своей целью крупномасштабное изучение механизмов взаимодействия океана и атмосферы.

Южной осцилляцией именуются периодически повторяющиеся перемещения больших воздушных масс в тропических и субтропических регионах между Тихим и Индийским океанами. Такие перемещения приводят к значительным климатическим нарушениям, изменяют характер осадков, температур, ветров в

[2] Подробнее см.: Людковский Г. В., Морозов А. И., Немченко Т. А., Усиков Д. А. Глубочайшая пещера СССР.— Природа, 1980, № 3, с. 66; Пропасть Снежная — самая большая на территории СССР.— Там же, № 10, с. 119.

областях распространения муссонов, в центральной и западной частях Тихого океана и в тропиках в целом. Характерный пример последствий Южной осцилляции — беспрецедентное по масштабам явление Эль-Ниньо, вызвавшее катастрофическое потепление вод, омывающих острова в Тихом океане и берега Южной и Северной Америки, что, в свою очередь, повлекло за собой изменение характера атмосферной циркуляции и погоды[1].

Учитывая масштабы объектов изучения и заинтересованность в результатах исследования общественности многих стран, можно полагать, что проект ENSO, рассчитанный на 10 лет, станет международным. Проводящиеся ныне разрозненные исследования отдельных аспектов взаимодействия водных и воздушных сред вряд ли позволят прийти к глобальным выводам.

Программа предстоящих работ состоит из трех основных разделов. Первый предусматривает провести в течение 10 лет наблюдения за особенностями взаимодействия океанов и атмосферы в зоне Южной осцилляции; составить детальное описание очередного явления Эль-Ниньо на протяжении 15—18 мес.; собрать подробную информацию о процессах, определяющих температуру на границе океан—атмосфера, и потоках энергии между этими двумя средами. Второй раздел предполагает сбор и анализ всех исторических данных, описывающих Южную осцилляцию и Эль-Ниньо по возможности за 100 лет. Третий раздел имеет целью на основе выявленных закономерностей создать предпосылки для прогнозирования подобных явлений.

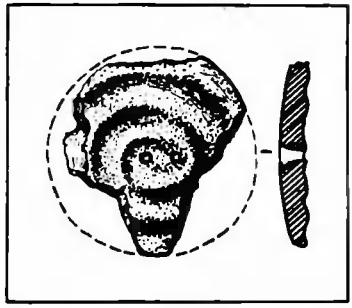
Предполагается, что проект ENSO может стать важной составной частью уже существующего международного проекта TOGA (Tropical Ocean and Global Atmosphere), который предназначен для изучения межгодовых изменений различных характеристик тропических районов Мирового океана и глобальной атмосферы.

EOS, Transactions of the American Geophysical Union, 1984, v. 65, № 6, p. 41 (США).

Археология

Изображение спирали в неолите Приохотья

Неолитическая стоянка в бухте Токарева (Магаданская область, п-ов Хмитевского), исследованием которой автор занимается с 1979 г. в составе Северо-Восточно - Азиатской комплексной археологической экспедиции Института археологии, истории и этнографии Северо-Восточного комплекса НИИ ДВНЦ АН СССР, ежегодно радует интересными находками[1]. Особенно примечательны художественные изделия из камня. В числе последних таких находок — небольшое изделие



Украшение из камня с изображением спирали. Диаметр изделия 4,5 см, толщина 0,5 см. Неолитическая стоянка в бухте Токарева; середина II—I тысячелетия до н. э.

из мягкого камня беловатого цвета. Края его обломлены, но по оставшимся частям можно определить, что оно имело круглую форму. Внутренняя сторона изделия гладкая со скошенными краями. На внешней стороне изображена спираль, выполненная прорезанным желобком. Желобок начинается из центра изделия, делая витки против часовой стрелки. В центре два конических отверстия диаметром 2—5 мм. Общий вид изделия напоминает пуговицу. Вероятно, оно пришивалось к одежде и, как нам представляется, служило ритуальным украшением.

В связи с этой находкой возникает вопрос о происхождении спирали в неолите Северного Приохотья. Ближайшие аналоги этой фигуры можно найти в неолите Нижнего Амура (петроглифы Сакачи-Аляна), где спираль связывалась с культом змеи. Изображение спирали есть и на керамическом отпечатке костяного штампа с древнеэскимосского поселения Иколиврунвеем, датируемого второй половиной I тысячелетия н. э.

По-видимому, спираль на украшении со стоянки Токарева представляет собой солярный знак — символ солнца. Это может свидетельствовать о сложившихся у древних приморских жителей представлениях о солнце как о благодатной силе; к нему можно обращаться за помощью в случае болезни или неудачи на промысле.

Можно предполагать, что изображение спирали появилось у древнего населения Приохотья в результате его тесных культурных контактов с амурскими неолитическими племенами. Об их участии в формировании приморской неолитической культуры в Северном Приохотье во II—I тысячелетиях до н. э. свидетельствует также каменный и керамический материал стоянки Токарева[2]. Вероятно, возникнув еще в неолите на Дальнем Востоке, изображение спирали постепенно распространялось с Нижнего Амура на все более северные территории, проникнув в I тысячелетии н. э. и к эскимосам.

А. И. Лебединцев

Магадан

[1] См., напр.: Климатическая аномалия в Тихом океане.— Природа, 1983, № 10, с. 115; Последствия Эль-Ниньо.— Там же, с. 116.

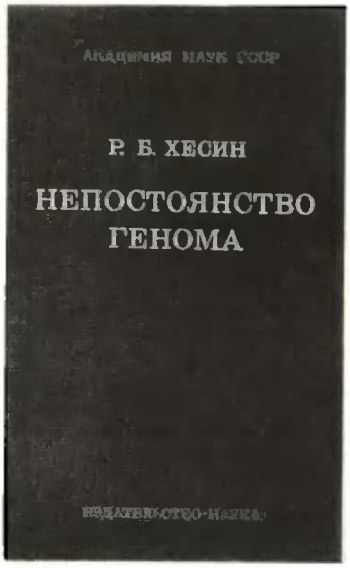
[1] См. напр.: Лебединцев А. И. Антропоморфная подвеска с Охотского побережья.— Природа, 1981, № 3. с. 120.

[2] Подробнее см.: Лебединцев А. И. Древнее искусство морских охотников.— Природа, 1983, № 3, с. 118.

От классической генетики к генетике «подвижной»

Л. Л. Киселев,
доктор биологических наук

Москва



Р. Б. Хесин. НЕПОСТОЯНСТВО ГЕНОМА. Отв. ред. Ю. Н. Зограф, Б. А. Лейбович. М.: Наука, 1984, 472 с.

Рецензировать плохие книги легче, чем хорошие: можно подробно перечислять крупные и мелкие недостатки, высказывать, по мнению рецензента, правильные мысли в отличие от сомнительных, содержащихся в объекте рецензии, демонстрировать свою эрудицию и т. д. Отзыв о хорошей книге часто хочется заменить советом ее прочесть, что несоизмеримо важнее чтения рецензии.

Однако для рекомендации читателю книги Р. Б. Хесина этого недостаточно. Невозможно не сказать, почему эта книга стала событием в отечественной биологической литературе и что она несет читателю, помимо лавины, моря фактов, тщательно отобранных, строго систематизированных, высокопрофессионально, просто и увлекательно изложенных, снабженных исчерпывающей библиографией (около 4,5 тыс. ссылок!), большим количеством рисунков (около 150) и таблиц, и глубоко осмысленных автором.

Биология XX века — во многом генетика: открытие дискретных единиц наследственности — генов, переоткрытие законов наследственности Г. Менделя, хромосомная теория наследственности, матричный принцип Н. К. Кольцова, опыты О. Эвери и соавторов, доказавшие химическую природу вещества наследственности — ДНК, работы Э. Тейтума и Дж. Бидла, заложившие основы биохимической генетики микроорганизмов (знаменитый принцип «один-ген — один-фермент»), двойная спираль ДНК Дж. Уотсона и Ф. Крика, открывшая эру молекулярной биологии, система регуляции активности генов прокариот, раскрытая Ф. Жакобом и Ж. Моно. Эти имена и эти открытия (и многие, многие другие, здесь не упомянутые) означали превращение генетики в науку не только количественную, но и молекулярную. Генетика классическая, которую в то время, когда рецензент учился в университете, именовали «формальной», превратилась в молекулярную, где законы наследственности и изменчивости раскрываются методами молекулярной биологии на молекулярном и субмолекулярном уровнях.

Краеугольный камень генетики — не только учение о генах, но и учение об их неизменности как таковых и по отношению к другим генам в геноме. Если бы это было не так, потомки неузнаваемо отличались бы от предков, виды не носили бы дискретного характера, невозможно было бы установить расположение генов на хромосомах, одним словом, генетика перестала бы быть той наукой, которой гордятся и на которую ссылаются биологи, когда математики упрекают биологию в «неколичественности».

Если постоянство структуры генов и их положения в генетическом аппарате образует основу наследования признаков и свойств организмов и воспроизводится в ряду поколений благодаря совершенству размножения молекул ДНК (редупликации), то изменения генома лежат в основе наследственной изменчивости и эволюции организмов. Давно известно, что случайные изменения (мутации) дают исходное «сырье» для отбора и последующей эволюции.

Казалось, генетика установила свои основные законы и, подобно классической механике, должна быть канонизирована в учебниках, а генетики будут находить все новые и новые доказательства непреложности ее основных законов. Однако в недрах самой генетики стали появляться одиночные факты, которые говорили о том, что не все так стройно и законченно, как следует из основных концепций. Еще в начале века некоторые генетики для объяснения своих опытов прибегали к представлениям о больных, или нестабильных, генах, позже их называли изменчивыми. В 40-х годах Б. Макклинток, детально изучив явление наследуемой мозаичности у кукурузы, пришла к выводу о существовании особых «контролирующих элементов», способных перемещаться по геному. В 1983 г. она стала лауреатом Нобелевской премии.

Хотя эти данные были известны несколько десятилетий, они не воспринимались как нечто существенное для общих

концепций, это были легкие тени на светлом и ясном челе могучей генетики 50-х—60-х годов. Однако во второй половине 60-х годов у бактерий обнаружили необычные мутации, которые представляли собой не точечные замены нуклеотидов в генах, а особые «вставочные» нуклеотидные последовательности, которые были способны «бродить» по геному, влияя на работу соседних с ними генов. Здесь вспомнили о «контролирующих» элементах Макклинток, так как их сходство с бактериальными «вставочными» элементами было достаточно очевидным.

Последнее десятилетие стало «взрывом»: методами молекулярной биологии с широчайшим использованием генной инженерии и расшифровки структуры нуклеиновых кислот было неопровержимо доказано, что, во-первых, подвижные генетические элементы имеют широчайшее распространение — от вирусов до человека; во-вторых, что они оказывают существенное влияние на поведение других генов; в третьих, что они являются существенным фактором наследственной изменчивости организмов и тем самым органической эволюции в целом.

Эту новую, «подвижную» генетику Р. Б. Хесин назвал проблемой непостоянства генома и осветил ее во всей ее современной многоликости, сложности и детальности. Изложение начинается с биологической сути явления, дается его генетическое описание, а затем молекулярная расшифровка вплоть до последовательностей нуклеотидов.

На первый взгляд, исследование непостоянства генома воспринимается как чисто познавательное направление, не имеющее никаких практических последствий. Материалы книги дают возможность с полной отчетливостью увидеть совсем другое: воздействие подвижных элементов генома на макро- и микроэволюцию столь существенно, они играют столь важную роль в быстрой приспособляемости организмов к меняющимся условиям среды, что учение о непостоянстве генома уже имеет и будет в дальнейшем иметь все возрастающее значение для селекции хозяйственно ценных признаков у животных и растений, для борьбы с лекарственной устойчивостью бактерий, для создания новых средств воздействия на болезнетворные вирусы.

Сейчас просто нереально себе представить, какие возможности откроет «подвижная» генетика перед человечеством уже к концу этого века. Диалектическое взаимодействие классической и подвижной генетики на молекулярном уровне, как мне кажется, и есть новый фундамент учения о наследственности и изменчивости. Естественный отбор имеет дело не только с генами, он имеет дело и с подвижностью генома, что приводит к далеко идущим общебиологическим следствиям.

Эту книгу трудно читать подряд — в ней слишком много мыслей и фактов, которые читатель должен усвоить, прежде чем идти дальше. Ее размах — от тонкой структуры геномов вирусов бактерий до глобальных проблем макроэволюции — требует от читателя и эрудиции, и способности к широте восприятия, и неторопливости. Но если читатель хочет действительно понять, что такое современная генетика, если он хочет знать, куда идет генетика и что ее волнует (и будет волновать еще долго!), если читатель готов к интеллектуальной отдаче и способен воспринимать «молекулярную эстетику» современной молекулярной биологии и генетики, если, наконец, он сам хочет участвовать в построении здания новой, «подвижной генетики» — он будет благодарным и постоянным читателем «Непостоянства генома», он будет возвращаться к этому труду многократно.

Л. Н. Толстой, как известно, затруднялся в определении жанра «Войны и мира», не считая это произведение ни романом, ни повестью, ни хроникой и предпочитал называть книгой. «Непостоянство генома» удобнее всего тоже считать книгой, ибо ему присущи монографичность и очерковость, черты учебного руководства и справочного издания. То, что такая книга написана одним человеком, кажется столь же удивительным, как те замечательные открытия, о которых идет речь. Это кажется почти неправдоподобным, потому что каждую из восьми глав должны были бы в наш век сверхспециализации писать по 2-3 специалиста, в каждом случае разные. Может быть, широта подхода привела к легковесности, поверхности изложения? Ни в коем случае. Это привело к концептуальности, к единству взгляда, к глубине понимания проблемы во всей ее разноликости, объемности и сложности.

Книга в полной мере отражает тот большой, принципиальный вклад, который внесен советскими генетиками и молекулярными биологами в открытие и изучение подвижных генетических элементов. В 1983 г. работы по подвижным генам животных отмечены Государственной премией СССР. Думаю, что труд Р. Б. Хесина является столь же существенным, как и экспериментальные исследования в этой области, он провоцирует новые идеи, стимулирует постановку нетривиальных опытов, раскрепощает мысль.

Радуясь тому, что в отечественной научной литературе по биологии произошло столь крупное событие, невольно сожалеешь, прочитавши на последней странице: «тираж 2250 экз.» Естественно, книгу купить уже давно невозможно. Научный и моральный убыток от такого тиражирования измерить трудно, хотя он, конечно, велик. Будем надеяться, что издательство «Наука», выпустившее книгу быстро и почти без опечаток, сумеет исправить свою недальновидность и что новое издание будет напечатано на менее серой и более прочной бумаге.

Мы все привыкли к быстрому старению книг, в которых отражена злоба научного дня. Судьба книги Р. Б. Хесина будет иной, несмотря на то, что в своем предисловии он пишет: «С радостью за свою науку, хотя и с жалостью к себе, я сознаю, что некоторые разделы монографии устареют прежде, чем она выйдет в свет». Иной потому, что, согласно Р. Б. Хесину, «факты не стареют» (вспомним булгаковское «рукописи не горят»).

Нестарение этой книги,

как мне кажется, будет связано с тем, что, оперируя огромным числом фактов, она всем своим настроем обращена к будущему. С этой точки зрения заключение, скромно озаглавленное «Несколько выводов», кажется подлинно значительным. Особый мир перемещающихся генетических элементов привел к возникновению представления о внутриклеточной эволюции, например, самостоятельной эволюции митохондрий и даже некоторых хромосомных генов (гены рибосомных РНК, гистонов, транспозоноподобные элементы) внутри клетки и во взаимодействии с ней. Непостоянство генома имеет фундаментальные, общебиологические следствия для теории эволюции. По мнению Р. Б. Хесина, «главная эволюционная роль перемещающихся элементов состоит в том, что они с помощью плазмид и вирусов переносят чужеродные гены между разными, подчас очень отдаленными организмами» (с. 377). Эта мысль, впервые в столь четко аргументированной форме высказанная в этой книге, заставит подвергнуть критическому пересмотру многие устоявшиеся взгляды в общей теории эволюции.

Идеи Р. Б. Хесина об едином генофонде всего живого мира, о «потоке» генов между разными организмами, вероятно, кажутся еретическими некоторым генетикам и эволюционистам. Но эти идеи логически вытекают из того, что изложено в книге на огромном фактическом материале, они являются следствием той революции в генетике, которая произошла на наших глазах при переходе от генетики классической к генетике «подвижной». Эти мысли будят воображение, и в высшей степени оправданно то, что Р. Б. Хесин кончает книгу словами И. В. Гете:

Да будет превознесена звезда,
Которою нам этот час дарован.
Да будет заклинаньем разум скован
И не теснит фантазии узда.
Старайтесь увидать, что вам понятно.
Что невозможно, то и вероятно.

Химики всех времен

Академик **И. Л. Кнунянц**
Москва

В. А. Волков, Е. В. Вонский, Г. И. Кузнецова, ХИМИКИ. Биографический справочник. Отв. ред. В. И. Кузнецов. Киев: Наукова думка, 1984, 734 с.

В последние полтора-два десятилетия интерес к справочной биографической литературе, посвященной ученым, заметно возрос. Сошлюсь на свой опыт. В 1975 г. «Журнал Всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева» (где я являюсь главным редактором) посвятил целый номер биографиям лауреатов Нобелевской премии. Тираж этого номера оказался одним из самых больших за всю историю журнала (каждый номер распространяется по самостоятельной подписке), причем после его выпуска редакция получила дополнительно несколько тысяч заявок, которые, к сожалению, уже не смогла удовлетворить.

Учитывая эту потребность, надо приветствовать инициативу издательства АН УССР «Наукова думка», начавшего в конце 70-х годов выпуск серии биографических справочников. В 1977 г. вышли в свет «Физики» (автор Ю. А. Храмов)[1], весь тираж которых (50 тыс. экз.) разошелся буквально в считанные дни. Книга вызвала такой интерес, что в 1983 г. издательство «Наука» сочло возможным выпустить ее второе, дополненное издание громадным тиражом — 200 тыс. экз. В 1977 г. увидел свет и справочник «Астрономы» (авторы И. Г. Колчинский, А. А. Корсунь, М. Г. Родригес), в 1983 г.— «Математики. Механики» (автор А. Н. Боголюбов). А совсем недавно на полках книжных магазинов появился справочник о химиках.

Это первое в мировой литературе издание, включающее свыше 1200 биографий ученых из 34 стран, внесших основной вклад в развитие химических наук. В нем освещена деятельность древнегреческих ученых, высказавших первые идеи об атомистике и заложивших основы учения об элементах; охарактеризовано научное наследие алхимиков, впервые разглядевших за совокупностью свойств-стихий химически индивидуальные вещества. Основное же содержание книги, естественно, составляет жизнеописание химиков двух последних столетий, а именно тех, кто создал основы учения об элементном составе вещества, о систематике и периодичности свойств химических элементов, основы структурной химии и учение о химическом процессе.

В справочник включены и биографии наших современников — академиков и членов-корреспондентов АН СССР, академиков АН союзных республик, а также видных ученых — создателей научных направлений и школ, членов зарубежных и международных академий. Вся эта информация до сих пор была рассеяна по бесчисленным источникам на разных языках мира. В «Химиках» она собрана воедино.

Широко представлены отечественные химики (около

[1] См. рецензию на эту книгу: Кордюкова С. А., Лаврова Н. Б. Биографические словари у нас есть.— Природа, 1978, № 9, с. 147.

500 биографий). Следует приветствовать, что в книгу попали биографии таких ученых, как А. Ф. Волкова — первая женщина в мире, опубликовавшая свои научные труды по химии, или, например, И. Н. Азербаев, первый казах — доктор химических наук и многие другие.

Периодизация истории химии и хронология важнейших событий (открытия новых химических элементов и соединений, реакций и методов синтеза, появление новых научных теорий), доведенная до наших дней и скоординированная с биографиями ученых, дают возможность читателю составить целостное представление о путях развития химии. В приложении к книге помещен список лауреатов Нобелевской премии по химии. Хочется также похвалить инициативу авторов, сумевших найти портреты свыше 1100 химиков. «Визуальное знакомство» с учеными, многих из которых мы никогда не видели, но хорошо знаем по научным публикациям, очень интересно.

Словом, издание производит хорошее впечатление, хотя оно и не безупречно. В справочник не попали некоторые выдающиеся зарубежные ученые, например американский неорганик Н. Бартлетт, первым синтезировавший фториды благородных газов, английский физико-химик М. Эванс — один из создателей теории активированного комплекса, иностранный член АН СССР биохимик из ФРГ Х. Цан.

Книге присущи недостатки, являющиеся, по-видимому, следствием переработки огромной массы разнообразных источников. Бросается в глаза неоднородность текста биографий, несоответствие объема сведений об ученом его научному вкладу. В этом смысле явно обижены биохимики — сведения о них скуповаты. Одни статьи снабжены датами открытий и первых разработок, тогда как в других они отсутствуют. Это, в частности, касается дат открытий именных реакций. При наличии книг К. В. Вацуро и Г. Л Мищенко «Именные реакции в органической химии» (М., 1976) и А. Серрея «Справочник по органическим реакциям» (пер. с англ. М., 1962) многие сведения достаточно легко было отыскать.

Справочнику «Химики», без сомнения, предстоит долгая жизнь и вероятные переиздания. Можно полагать, что авторы в дальнейшем устранят отмеченные недостатки.

НОВЫЕ КНИГИ

Физика

Б. С. Бокштейн. АТОМЫ БЛУЖДАЮТ ПО КРИСТАЛЛУ. М.: Наука, Главн. ред. физ.-мат. литературы (Библиотечка «Квант», вып. 28), 1984, 208 с., ц. 30 к.

Как пишет автор, его «не оставляла мечта попытаться ясно и образно рассказать, что такое диффузия... людям, не обладающим специальными знаниями, хотя, конечно, знающим о существовании атомов». Кроме того, автору хотелось, чтобы читателю было интересно, чтобы он проникся красотой этого удивительного и таинственного процесса перемещения атомов в строго организованном и плотно упакованном мире кристаллов (именно этот процесс мы и называем диффузией).

Благодаря диффузии внутри твердого металла, который кажется застывшим и неизменным, происходит множество разнообразных процессов, «разыгрываются микрокомедии и микродрамы». Перемещение атомов приводит к изменению строения металлов, к возникновению одних и исчезновению других дефектов, к росту пор и трещин или их залечиванию. Эти процессы делают металл более прочным или, наоборот, приводят к его разрушению.

В книге рассказано, почему атомы перемещаются и как им удается это делать в кристалле, где тесно, где каждый атом находится на определенном месте — в узле кристаллической решетки; читатель знакомится с различными проявлениями беспорядка в кристаллах, узнает об удивительной судьбе вакансий, о том, какую выдающуюся роль они играют в процессах диффузии. Чтобы объяснить все это, автор обращается к законам термодинамики, к теории вероятности, теории флуктуаций, теории переходного состояния. Как всякая наука, теория диффузии — это еще и люди, их мысли, поиски и находки. Этим объясняется присутствие в тексте большого числа интересных авторских отступлений.

Физика. История

П. А. Ваганов. ФИЗИКИ ДОПИСЫВАЮТ ИСТОРИЮ. Под ред. и с предисл. А. Я. Шера. Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1984, 216 с., ц. 90 к.

Все чаще ученым, решающим проблемы гуманитарных наук, приходят на помощь физики и химики, биологи и математики. Археология одной из первых привлекла на помощь естественнонаучные методы. В последнее десятилетие в этой области используются электро- и магниторазведка, рентгеноструктурный и рентгеноспектральный анализы, активацион-

ный анализ, электронное и протонное микрозондирование.

Чтобы точно формулировать задачи и планировать будущие эксперименты, представители гуманитарных наук должны четко представлять себе возможности современного арсенала средств физики. Книга П. А. Ваганова может этому способствовать. В ней подобраны и систематизированы наиболее интересные примеры совместной деятельности физиков и историков, в живой и увлекательной форме излагается, как с помощью физики удалось решить многие задачи археологии, палеонтологии, палеоэтнографии, истории, искусствоведения, нумизматики.

Биохимия

Т. Франклин, Дж. Сноу. БИОХИМИЯ АНТИМИКРОБНОГО ДЕЙСТВИЯ. Пер. с англ. под ред. А. А. Богданова. М.: Мир, 1984, 240 с., ц. 1 р. 80 к.

В своей монографии известные английские специалисты попытались на основе современных представлений о строении и функционировании генетического аппарата клетки и биологических мембран систематизировать сведения о биохимических механизмах действия антимикробных агентов. В предисловии к русскому изданию редактор перевода следующим образом рекомендует ее: «Особенность этой книги заключается в том, что она предназначена для действительно очень широкого круга читателей. Микробиолога она познакомит с классификацией и химической структурой наиболее важных антимикробных препаратов. Химика-органика, синтезирующего новые лекарственные вещества, но мало знакомого с молекулярной биологией, она введет в курс представлений о биосинтезе ДНК, РНК и белка, а также о механизмах биоэнергетических процессов и транспорта веществ через биологические мембраны. Студент-биохимик узнает из этой книги, что антимикробные вещества могут служить тонким и удобным инструментом изучения механизма биохимических реакций. Интересные сведения о развитии идей в области биохимии лекарственных веществ найдет в этой книге историк науки. А искушенный специалист, уже знакомый со всеми этими разделами химии и биологии, получит возможность взглянуть на проблему биохимии антимикробных агентов, так сказать, «с высоты птичьего полета». И, наконец, всеобщий интерес должна вызвать заключительная глава этой книги, в которой обсуждается одна из самых животрепещущих проблем, стоящих перед человеком,— причины появления и пути преодоления лекарственной устойчивости у микроорганизмов».

Биология. История науки

Э. Н. Мирзоян. РАЗВИТИЕ СРАВНИТЕЛЬНО-ЭВОЛЮЦИОННОЙ БИОХИМИИ В РОССИИ. Отв. ред. Б. П. Строганов. М.: Наука, 1984, 272 с., ц. 3 р. 40 к.

Хронологические рамки исследования определены двумя датами: 1859 годом, когда вышел в свет труд Ч. Дарвина «Происхождение видов», и 1924 годом, когда впервые была опубликована теория А. И. Опарина о происхождении жизни. В начале книги прослеживается переход от идеи химического сходства организмов к концепции единства процессов жизнедеятельности. Затем, анализируя научное наследие А. С. Фаминцына, К. А. Тимирязева, И. П. Бородина, А. Я. Данилевского, автор раскрывает ведущую роль этих естествоиспытателей в формировании сравнительно-эволюционного направления в отечественной биохимии. Следующая часть книги посвящена принципам биохимического единства органического мира. Здесь рассматриваются работы М. В. Ненцкого, направленные на выяснение эволюционного смысла сходства хлорофилла и гемоглобина; концепция Д. Н. Прянишникова о единстве азотистого обмена; сравнительно - эволюционные представления В. И. Палладина, С. П. Костычева, А. Н. Баха, В. С. Буткевича; сравнительно-эволюционная программа В. С. Гулевича. Далее автор показывает, какой вклад сделан В. И. Вернадским в познание закономерностей биохимической эволюции, раскрывает роль ученика Вернадского, минералога и биохимика Я. В. Самойлова в становлении палеобиохимии. Наконец, последняя часть посвящена проблеме зарождения жизни и теории А. И. Опарина.

Книга адресована широкому кругу биологов, химиков и историков науки.

Геология

Б. И. Сребродольский. ЯНТАРЬ. Отв. ред. Н. А. Созинов. М.: Наука, 1984, сер. «Человек и окружающая среда», 112 с., ц. 45 к.

Янтарь — это собирательное название целого ряда ископаемых смол хвойных деревьев. Его формула $C_{10}H_{16}O_4$. Однако соотношение между отдельными элементами в янтаре подвержено колебаниям, чем и определяются вариации его свойств. Палитра янтаря содержит все цвета радуги, в ней насчитывают чуть ли не 350 оттенков — от золотисто-желтых и сиренево-голубоватых до красно-бурых, зеленоватых и даже черных. В группе камней-самоцветов янтарь по красоте расцветки занимает одно из первых мест.

В книге излагается современное представление о процессе образования янтаря, воссоздается облик таинственного «янтарного леса», произраставшего в пределах нынешней Скандинавии, Карелии, Кольского п-ова. Подробно охарактеризованы основные месторождения янтарей в нашей стране.

Много внимания автор уделил результатам исследования растений и животных, «законсервированных» в янтаре. Эти включения, изученные с помощью электронного микроскопа, дополнили наши представления о флоре и фауне, существовавших на Земле более 40 млн лет назад, и о процессе эволюционных превращений жи-

вотных и растений на протяжении последних геологических эпох. «Палеонтологи,— говорится, например, в книге,— изучив в янтаре включения насекомых и паукообразных, заключили, что большинство из ныне живущих видов, предки которых представляли фауну в «янтарных» лесах, практически не изменились за десятки миллионов лет».

Читатель познакомится с историей знаменитой янтарной комнаты Екатерининского дворца в г. Пушкине, с описанием великолепных янтарных изделий, хранящихся в Оружейной палате Московского Кремля и в Эрмитаже, в музеях янтаря в Паланге и Калининграде. Узнает о том, что еще тысячелетия назад люди заметили целебные свойства янтаря и оценили его красоту, что он воспет в русских сказаниях под именем «камень-алатырь», а также о том, что, по свидетельству Плиния Старшего, фигурки из золотисто-желтого янтаря «можно было выменять на рослого и сильного раба».

В книге описаны старые и современные способы добычи и обработки янтаря, масштабы его современного использования в электротехнике и медицине.

Охрана природы

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГОРОДСКИХ СИСТЕМ. Авт. предисл. Т. С. Мохнач. Минск: Наука и техника, 1984, 254 с., ц. 2 р.

Сборник содержит материалы Первого совещания представителей национальных комитетов социалистических стран по программе ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (МАВ), которое было посвящено оптимизации окружающей среды промышленных центров. В публикуемых докладах и сообщениях рассматриваются градостроительные проблемы (в том числе оптимальные варианты размещения на территории современного города производственных зон, жилых районов, общественных комплексов и мест массового отдыха), санитарно-гигиенические проблемы урбанизации (гигиенические аспекты охраны воздушного бассейна и водоисточников города, оптимальная последовательность уменьшения токсичных выбросов и т. д.); ландшафтно-эстетические проблемы города; принципы изучения влияния факторов окружающей среды на здоровье населения современных городов и др.

Такие сборники издаются для пропаганды программы МАВ и вовлечения в исследования по ее проектам новых коллективов ученых.

Этнография

Клод Леви-Строс. ПЕЧАЛЬНЫЕ ТРОПИКИ. Сокр. пер. с франц. Г. А. Матвеевой, научн. конс., авт. предисл. и коммент. Л. А. Файнберг. М.: Мысль, 1984, 220 с., ц. 1 р. 90 к.

В конце 30-х годов К. Леви-Строс, этнограф-индеанист, создатель французской школы структурализма, был профессором университета в Сан-Паулу (Бразилия). Материалы, собранные им в 1935—1938 гг., легли в основу «Печальных тропиков», которые опубликованы впервые во Франции почти 30 лет назад. В настоящее издание вошли те главы книги, которые носят географический и этнографический характер.

Анализ мифов южноамериканских индейцев привел ученого к идее противопоставления природы и культуры. Эта тема развивается и в «Печальных тропиках», где она тесно увязывается с характеристикой структуры индейских обществ, с представлениями индейцев о жизни, о мироздании.

Одной из основных является мысль автора о формальной структуре взаимоотношений людей, неизменной и существующей как бы вне истории. Совокупность обычаев, по Леви-Стросу, образует систему. Число таких систем ограниченно. «Человеческие общества,— пишет он,— подобно отдельным лицам, в своих играх, мечтах или бредовых видениях никогда не творят в абсолютном смысле, а довольствуются тем, что выбирают определенные сочетания в некоем наборе идей, который можно воссоздать». По мнению Леви-Строса, перечень всех существующих обычаев можно было бы уподобить периодической системе химических элементов, где все обычаи оказались бы сгруппированы по семьям. Так, например, культуру мбайя-гуайкуру автор сравнивает с той воображаемой культурой, которая представлена в одной из традиционных игр — карточной игре. Это явствует как бы уже из костюма этих индейцев, на туниках и плащах которых были воспроизведены карточные орнаменты: пики, черви, бубны и трефы.

Исходя из своей общей идеи о формальной надысторической структуре обществ, автор применяет при описании доклассовых обществ индейцев категории классового феодального общества: короли и королевы, сеньоры и крепостные индейцы — одни из его главных героев.

Научно-художественное произведение Леви-Строса, насыщенное первоклассным этнографическим материалом, особенно ценным по отношению к истории тех племен, которые находятся на грани исчезновения, позволит читателю ознакомиться и с новым для него пониманием культуры. Комментарии, которыми снабжена книга, помогают увидеть идеи Леви-Строса в контексте взглядов большинства современных ученых.

Мой папа «майонез»

Сочинение ученика 7 А класса В. Сергеева на тему «Кем я хочу стать!»

Этого я не знаю. Зато твердо решил, кем никогда не буду: научным сотрудником, как мой батя, или «майонезом». Моя сестра Иришка однажды услышала, как он кому-то диктовал по телефону «м. н. с. Сергеев», и с тех пор всем сообщает: «Мой папа майонез».

Бабушка говорит, что батина наука для нашей семьи все равно, что двенадцать казней египетских или путь на Голгофу. Она была верующая и ходила в церковь, пока мама не вышла за папу. Но с тех пор бабушка на этой кампании поставила крест, потому что нету, говорит, бога на небесах, если ее единственной дочери достался такой муж, как батя. Скажет — и тут же закуривает.

У Мишки Левшина с нашего двора отец в автосервисе «Жигулей» служит. Он прямо так и говорит, что серьезным людям заниматься наукой смешно даже, да он и без науки про все на свете знает. Сколько он народу повидал в своем сервисе и слышал сколько всего! Ну, конечно, у Мишки есть мопед, настоящие джинсы, магнитофон. А от моего бати разве чего дождешься? У него у самого только и есть что очки, трубка, старая пишущая машинка, да пальто с дыркой в кармане, через которую всегда табак проваливается. А как бате с куревом приспичит, он отпарывает подол и выгребает свой табак. Он так делает раза по два в месяц, честное слово!

Конечно, если бы батя в молодости защитился, все бы по-другому пошло. Он уже сделал одну диссертацию. Его все убеждали: кончай опыты, защищайся! А он вместо этого стал проверять-перепроверять что-то на своих крысах, диссертация от этого развалилась.

Бабушка считает, что потому так случилось, что отец вообще неудачник. А батя смеется, когда она на него нападает, и сразу соглашается. Только бабушка от этого еще хуже расходится. Но несколько лет назад мать и бабушка крепко насели на батю. Особенно, конечно, бабушка, да еще батин шеф, с которым они раньше в университете вместе учились. Они несколько раз у нас собирались и задавали бате такие головомойки, что боже упаси! Батя отшучивался-отшучивался, а под конец они его-таки уломали.

Но у бедного бати совсем мозги стали набекрень от расстройства, что ему снова придется сесть за диссертацию. Он и раньше был рассеянный, как академик, но тогда самого себя превзошел. Честное слово! Поставил у булочной коляску, где наша Иришка спала, выходит с хлебом, берет первую попавшуюся того же цвета и бредет домой, размышляя о своих крысах. Дома бабушка опускает у коляски верх, а там лежит негритянский малыш, может, один на весь район,— надо ж было бате притащить как раз его! — и скалит ей зубы. Улыбается то есть. Бабушка молча шлеп в обморок, к ней тут же и мама присоединилась.

Когда батя детей поменял обратно, у нас такое было! Бабушка ревела, как лев, и мама сначала тоже. Но она всегда так: сперва покричит, а потом сама же скажет: «Отстаньте все от отца!». А еще она сказала, что пусть лучше батя будет без диссертации, зато у нас в семье все останутся живы и здоровы. Но бабушка ответила, что она не переживет такого позора, что ее дочери мужу — 40 лет, а он все майонез и такой недотепа, каких на всем свете поискать, и она уйдет в дом для престарелых. А батя засмеялся и обещал этого не допустить и поскорее защититься. Я вообще-то ни разу не слышал, чтобы он с кем-нибудь ругался. Когда бабушка в духе, она объясняет это тем, что единственное батино достоинство — хороший характер, тогда как у других неудачников он обязательно к старости «тухнет», а когда не в духе — тем, что мой батя — страшный человек, если разобраться, и его ничто в мире не волнует, кроме антител в крови его крыс.

Нет, мой батя не страшный человек! Поглядеть на него хотя бы, когда он приходит домой после опытов, особенно если не ладится, как у него чаще всего и бывает: весь прокуренный, сутулый, жалкий, совсем старик. Мама всегда его дожидается, чтобы дать поесть, а бабушка тоже не спит и бурчит из своей комнаты:

— Вот уж правду говорят: 40 лет ума нет и не будет!

Это похоже на правду! Сейчас бате уж 45, а он недавно вот что учинил. У них на работе лопнули трубы, и чтобы крысы с антителами не замерзли, батя привез их домой в пяти клетках. Крысы были почти что с кошек, желтые и розоволазые. На вид страшенные, а так вполне безобидные — чистенькие; некусачие и ручные. Мы с Иришкой с ними играли, и мама их не боялась. Батя объяснил нам, что это получившие какие-то антитела крысы чистой линии бэ-дэ-и, или инбредные животные, а бабушка их назвала инвредные животные, или аспиды. И вот однажды, когда бабушка спала, Иришка повыпускала батиных крыс.

Этого ни в какой научной фантастике не опишешь, что началось, когда крысы разбежались через лаз под ванной по всему дому! Людей-то они не боялись и не прятались, как дикие! Где их только ни находили, чаще всего почему-то в пододеяльниках.

Но большого вреда наши крысы никому не принесли, разве что в 16 квартире у одного композитора какая-то крысиха родила крысят в струнном концерте. То есть измельчила нотную тетрадь и построила из нее за вешалкой гнездо для своего потомства. Да на первом этаже алкоголик дядя Миша как увидел однажды утром пять зеленых крыс (Иришка любила их красить зеленкой), которые шли гуськом мимо его кровати, так получил такое нервное потрясение, что бросил пить.

Батя обошел жильцов, извинился и большинство крыс нам вернули. Но Иришка по простоте душевной растрепала во дворе, что крысы были с антителами, и это многих обеспокоило. Поэтому однажды к нам пришел из жэка техник-смотритель. Он еще на лестнице кричал:

— Где живет этот майонез?! Я ему покажу антитела! Я ему такое антитело сделаю, что он себя в зеркале не узнает!

Хорошо, что бати дома не оказалось.

Свой второй диссер, такой же злосчастный, как и первый, батя делал два года. Он бы его еще быстрее сделал: у него материала наработано вагон. Но ведь батя не может, как нормальные люди. Ему подавай что-нибудь здакое, необычное. Он уже однажды за здаким погнался, из-за чего его первый диссер погорел, и теперь мы с бабушкой, мамой и его шефом очень боялись, что он опять останется незащищенным. Между тем батя уже лет десять искал какие-то новые антитела, и его шеф шутил, что если батя их отыщет, то как раз ему будет на докторскую, а сам шеф подскочит аж до академиков. А пока что бате выбрали беспроигрышную тему — какой там эффект ни найдешь, все сгодится.

Зная, что от нашего бати можно ждать чего угодно, мы стали за ним следить, вдруг он опять этими антителами начнет заниматься. Мама звонила его шефу и уговаривала не давать бате распыляться, но тот и сам старался не давать. В общем международная обстановка в нашей семье стала дико напряженной.

А тут еще бабушка откопала старое Иришкино платье, которое хотели пустить на тряпки, расковыряла дырку на локте и снизу сделала ножницами вроде бахромы. Как батя вечером приходит, она наряжает Иришку в это платье и говорит:

— Пусть он видит, в каких отрепьях ходит его ребенок, как дитя трущоб!

Мама с бабушкой из-за этого маневра как следует переругались, тем более, что, во-первых, батя настолько углубился в своих крыс, что ходи мы все хоть голые, он бы и этого не заметил, а во-вторых, Иришкина физиономия, будто с рекламы детского питания, все равно ее выдавала, что никакая она не трущобная. Но бабушку разве переубедишь?

Иришка походила так дня три, никак не веря своему счастью, что ее теперь не выгоняют из-под кроватей и не орут, когда она поливается акварельными красками, что у нее называется рисованием. А потом батя, вернувшись с работы, дает бабушке какой-то сверток и проходит, как обычно, в свою комнату заниматься.

А в свертке было голубое платьице, с кружевами, галстуком, карманами и даже надписью на одном из них «I love you». Иришка стала визжать и прыгать, как полоумная, а мама и бабушка тоже были не в себе от изумления, глядя на это «I love you»! Словом, платью не было бы цены, если бы в него можно было втиснуть пятилетнего ребенка. Но ничего, бабушка его перешила на жакетку, и сестренка смотрится дай бог!

Батя кончил опыты, и ему осталось только сесть и написать вторую диссертацию, так что наша семья считала себя почти что защищенной. Но однажды за ужином он сообщил, что нашел свои антитела.

— Нашел? — переспросила мама и почему-то засмеялась.

— Угу.

Бабушка, не доев, вылезла из-за стола и стала мыть посуду.

— А что же с твоей диссертацией? — поинтересовалась мама.

— Но не защищаться же мне на той муре! — батя даже возмутился.— Ничего! Я сейчас быстренько кое-что перепроверю и тут же напишу по новому материалу.

— Ну давай...— вздохнула мама.

Прошел уже год. Батя все перепроверил. Их лаборатория запатентовала открытие, и он обещает вот-вот сесть за свою машинку. Но и мы, и, кажется, его шеф уж поняли, что батя и диссер — вещи несовместимые, и от него отстали. Кстати, батю собираются турнуть из института по сокращению штатов и по правилам, что под это сокращение в первую очередь попадают незащищенные до скольких-то лет майонезы.

Шеф за батю воюет, но мама считает, что этот номер не пройдет, потому что все его силы сейчас заняты внедрением куда-то батиных антител. За них врачи ухватились, потому что этими антителами, вроде, лечится какая-то человечья болезнь.

А батя все острит в своем духе:

— Без паники, ребята! У меня еще осталось до пенсии лет пятнадцать, и ставки младших научных есть в любой лаборатории. На меня еще кто-нибудь да клюнет!

Передал для публикации **А. Рылов.**

В номере использованы фотографии АЛЕКСЕЕВА Н. Н., БЕЛИКА В. П., ГУСЕВА О. К., КАРЦЕВА В. М., ЛЮБИНСКОГО Е. Г., НЕЧАЕВА Б. А., ПАРМУЗИНА Ю. П.

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

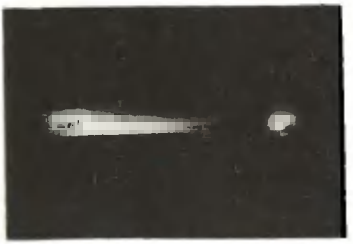
Художник П. Г. АБЕЛИН
Художественные редакторы
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР
Корректоры:
Э. А. ГЕОРГАДЗЕ, Т. Д. МИРЛИС
Адрес редакции:
177049, Москва, ГСП-1
Мароновский пер., 26.
Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 27.07.84
Подписано к печати 6.09.84
Т—17436
Формат 70×100¹/₁₆
Офсет

Усл.-печ. л. 10,32
Усл. кр.-отт. 1429,5 тыс.
Уч. изд. л. 15,7
Бум. л. 4
Тираж 53 400 экз. Зак. 2098

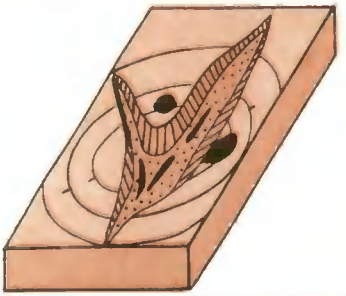
Ордена Трудового Красного Знамени Чеховский полиграфический комбинат ВО «Союзполиграфпром» Государственного комитета СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
г. Чехов Московской области

В следующем номере



Поведение пылевых частиц в космическом пространстве (астрозолей) существенно отличается от их поведения в атмосфере (аэрозолей). Продукты вулканизма на планетах, кольца Сатурна, хвосты комет, продукты сгорания топлива в двигателях космических аппаратов — примеры естественных астрозолей. Для их изучения поставлены Эксперименты по искусственному созданию астрозолей с помощью геофизических ракет.

Петрянов-Соколов И. В., Сутугин А. Г. Астрозоли — новый объект физических и астрономических исследований.

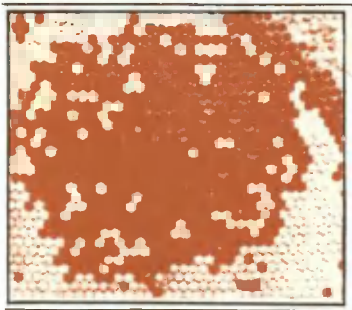


Почему раздвигаются огромные литосферные плиты? Как образуются океаны? Подойти к решению этих проблем позволяет изучение протяженных глубоких впадин — Байкальского и других континентальных и океанических рифтов.

Мирлин Е. Г. Станет ли Байкал океаном?

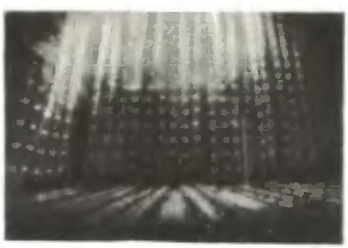
Скалы на картинах А. Мантеньи и А. Дюрера обнаруживают сходство с человеческими лицами, а арбузы у И. Босха покрыты сетью кровеносных сосудов. Таким образом в эпоху Возрождения утверждалась мысль о взаимопроникновении, даже тождестве мира природы и мира человека.

Соколов М. Н.. Природа и человек в искусстве Возрождения.



Поведение пчелиной семьи обеспечивает ей необходимые жизненные условия в гнезде независимо от климатических зон.

Еськов Е. К. Микроклимат пчелиного гнезда



Нет оснований считать протон абсолютно стабильной частицей — к такому выводу приводят современные теории, объединяющие фундаментальные взаимодействия. Наблюдение распада протона послужило бы прямым подтверждением этих теорий.

Березинский В. С. Объединенные калибровочные теории и нестабильный протон.

Цена 80 коп.
Индекс 70707