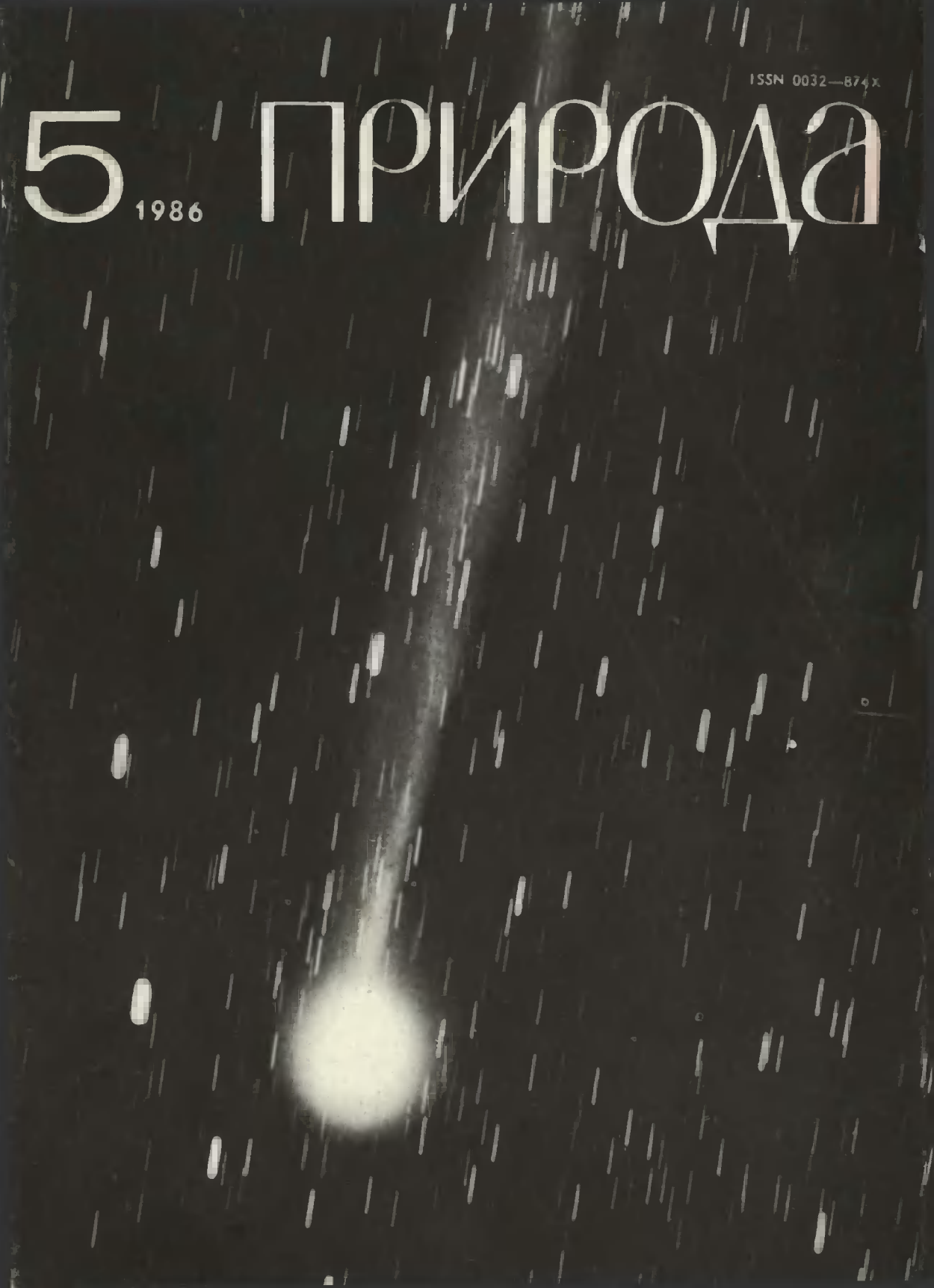


ISSN 0032-874X

5

1986

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

Член-корреспондент АН СССР
Р. Г. БУТЕНКО

Доктор географических наук
А. А. ВЕЛИЧКО

Академик
В. А. ГОВЫРИН

Член-корреспондент АН СССР
И. Р. ГРИГУЛЕВИЧ

Член-корреспондент АН СССР
Г. А. ЗАВАРЗИН

Член-корреспондент АН СССР
В. Т. ИВАНОВ

Доктор физико-математических наук
Н. П. КАЛАШНИКОВ

Доктор физико-математических наук
С. П. КАПИЦА

Доктор физико-математических наук
И. Ю. КОБЗАРЕВ

Кандидат физико-математических наук
А. А. КОМАР

Академик
Н. К. КОЧЕТКОВ

Доктор геолого-минералогических наук
И. Н. КРЫЛОВ

Доктор философских наук
Н. В. МАРКОВ

Ответственный секретарь
В. М. ПОЛЫНИН

Доктор исторических наук
П. И. ПУЧКОВ

Заместитель главного редактора
академик
Ю. М. ПУЩАРОВСКИЙ

Доктор философских наук
Ю. В. САЧКОВ

Заместитель главного редактора
доктор биологических наук
А. К. СКВОРЦОВ

Академик АН УССР
А. А. СОЗИНОВ

Академик
В. Е. СОКОЛОВ

Доктор геолого-минералогических наук
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора
кандидат технических наук
А. С. ФЕДОРОВ

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

Член-корреспондент АН СССР
В. Е. ХАИН

Доктор физико-математических наук
А. М. ЧЕРЕПАЩУК

Доктор физико-математических наук
В. А. ЧУЯНОВ

На первой странице обложки. Снимок кометы Галлея, полученный на Крымской астрофизической обсерватории АН СССР наблюдателями Н. С. и Л. И. Черных. Об исследовании этой кометы с помощью космических аппаратов см. в номере: Балебанов В. М., Мороз В. И. Космическая экспедиция «Вега»: встреча с кометой Галлея.

На четвертой странице обложки. «Глаз» установки ARGUS — сцинтилляционный счетчик для регистрации фотонов. См. в номере: Данилов М. В. Новые распады «очарованных» и «прелестных» частиц. Фото группы ARGUS.

В НОМЕРЕ

- Балебанов В. М., Мороз В. И.** Космическая экспедиция «Вега»: встреча с кометой Галлея 3
 В марте 1986 г. две советские автоматические межпланетные станции встретились с кометой Галлея. Впервые ученым удалось заглянуть в самое «сердце» кометы и получить информацию о структуре и размерах ее ядра, его вращении, о строении внутренних частей комы.
- Варфоломеев С. Д.** Простагландины 18
 Простагландины — вещества, регулирующие множество биохимических и физиологических процессов в организме, открыты 50 лет назад. Хотя до сих пор их роль еще полностью не раскрыта, природные простагландины, их синтетические аналоги, а также ингибиторы их биологического синтеза находят применение в медицине.
- Данилов М. В.** Новые распады «очарованных» и «прелестных» частиц 30
 Продолжаются интенсивные исследования частиц, в состав которых входят тяжелые кварки. Такие частицы во многих случаях служат «пробным камнем» для современной теории сильных взаимодействий.
- Кафанов А. И.** Лагуны дальневосточных морей 34
 Лагуны, занимающие значительную часть береговой линии Дальнего Востока, — это настоящие оазисы жизни. Чтобы рационально эксплуатировать их, нужно знать, как функционируют эти биологические системы, развивать разносторонние исследования лагун.
- Бродянский Д. Л., Раков В. А.** Памятники первобытной аквакультуры 43
 Около 10 тыс. лет назад жители Дальнего Востока не просто собирали зрелых моллюсков, а, вероятно, занимались также их разведением и выращиванием.
- Абдуллаев К. А., Аннаев Т. Д.** Изображение слона в искусстве античной Бактрии 46
 Найденные при раскопках в Средней Азии настенные росписи и статуэтки свидетельствуют, что в I тысячелетии до н. э. индийские слоны широко использовались там в повседневной жизни.
- Булаевский Л. Н., Щеголев И. Ф.** Органические сверхпроводники 50
 Слова «проводник» и «сверхпроводник» невольно ассоциируются со словом «металл». Но синтезированные недавно органические проводники и сверхпроводники могут в недалеком будущем оказаться для многих технических приложений выгоднее, чем привычные металлы.
- Михайлов Ф. Т.** Преемственность в развитии сознания 63
 Ребенок не может сделать первый шаг, произнести первое слово, не переименовав по-своему «карту» человеческой жизнедеятельности и общения. И как он делает это, не предопределено наследственно и не подсказано полностью образцами, уже имеющимися в культуре.
- Горбунов А. П., Титов С. Н.** Каменные глетчеры 73
 На первый взгляд, эти характерные для горных ландшафтов образования кажутся простым нагромождением камней. Однако по строению и закономерностям движения каменные глетчеры более похожи на ледники.

Басс Ф. Г., Калмыков А. И., Шестопапов В. П. Радиолокационные исследования Мирового океана	78
Радиоволны несут богатую информацию о состоянии поверхности океана: о волнах, течениях, льдах и т. д. Это направление исследований приобрело особое значение с появлением искусственных спутников Земли.	
Першиц А. И., Смирнова Я. С. Геронтология — почитание старших	88
Престиж преклонных лет у некоторых народов настолько велик, что иногда наблюдается искусственное завышение людьми своего возраста. В связи с этим в этнографии предложена концепция «социального долгожительства», не совпадающего с «биологическим долгожительством».	
Жидков А. Я. Сынныриты — новое комплексное сырье	96
В Прибайкалье обнаружены новые породы с высоким содержанием калия и алюминия — сынныриты. Их использование поможет обеспечить сырьем агрохимическую и алюминиевую промышленность Сибири и Дальнего Востока.	
ДИАЛОГ С ЧИТАТЕЛЕМ	
«Нематода Бреннера» — уникальная модель для изучения нервной системы	102
О разделе «Новые книги» в нашем журнале	103
НОВОСТИ НАУКИ	104
Работа метеоспутника восстановлена (104) • Изучается хвост кометы (104) • Сверхжесткое излучение от рентгеновских пульсаров (105) • «Сверхсветовой» радиоисточник (105) • Половина пути пройдена (106) • Десятая планета Солнечной системы? (107) • Как возникли метеориты? (107) • Мазер на одном атоме (108) • Новый вид спектроскопии твердых тел (108) • Акусто-термография (109) • Тепловизор «видит» мозг (110) • Мембранный белок нервных и лимфоидных клеток (110) • Клонирован ген фактора некроза опухолей (110) • Антагонисты опиоидных соединений в мозге (111) • Опиоидный пептид ускоряет регенерацию (111) • Подавление опухолей у растений (111) • Изучение неспецифических иммуноглобулинов (112) • Испытания тромболитического препарата (112) • Новые исследования интерферона (112) • Галогенорганические соединения морских водорослей (113) • Попытки сохранить белоголового орлана (114) • Первый рейс научно-исследовательского судна «Академик Николай Страхов» (114) • 103-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн» (116) • Никель космического происхождения (117) • Изучается Мексиканское землетрясение (118) • Сеть автоматических метеостанций в Тихом океане (118) • Красители эпохи викингов (119)	
РЕЦЕНЗИИ	
Файвишевский В. А. Наука — о переживании (на кн.: Ф. Е. Василук. Психология переживания)	120
Юрьев И. К. В поисках единства физики (на кн.: В. П. Визгин. Единые теории поля в первой трети XX века)	122
НОВЫЕ КНИГИ	124
Бёрке У. Пространство — время, геометрия, космология (124) • Урбанизация и развитие городов в СССР (124) • Борев В. Ю. Средства массовой информации: идеологические и культурно-коммуникативные аспекты (125) • Азимов А. Язык науки (125) • Антонов А. Н. Преемственность и возникновение нового знания в науке (125)	
В КОНЦЕ НОМЕРА	
Фейнман Р. Счастливые числа	126

Советская наука призвана занимать ведущие позиции по основным направлениям научно-технического прогресса...

Исследование и освоение космоса должны осуществляться только в мирных целях, для развития науки и производства, в соответствии с потребностями всех народов.

Программа Коммунистической партии Советского Союза.

Новая редакция.

Принята XXVII съездом КПСС

Космическая экспедиция «Вега»: встреча с кометой Галлея

В. М. Балебанов, В. И. Мороз



Вячеслав Михайлович Балебанов, кандидат физико-математических наук, заместитель директора Института космических исследований АН СССР. Область научных интересов — космическое приборостроение и физика плазмы. Лауреат Государственной премии СССР. В «Природе» опубликовал (совместно с В. И. Морозом и Л. М. Мухиним) статью: Первый этап космической экспедиции «Вега»: исследование Венеры (1985, № 8).



Василий Иванович Мороз, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом того же института. Основные научные интересы относятся к физике планетных атмосфер и инфракрасной астрономии. Лауреат Государственной премии СССР. Автор ряда монографий и учебных пособий, в том числе: Физика планет. М., 1967; Физика планеты Марс. М., 1978.

ЗАВЕРШАЮЩИЙ ЭТАП

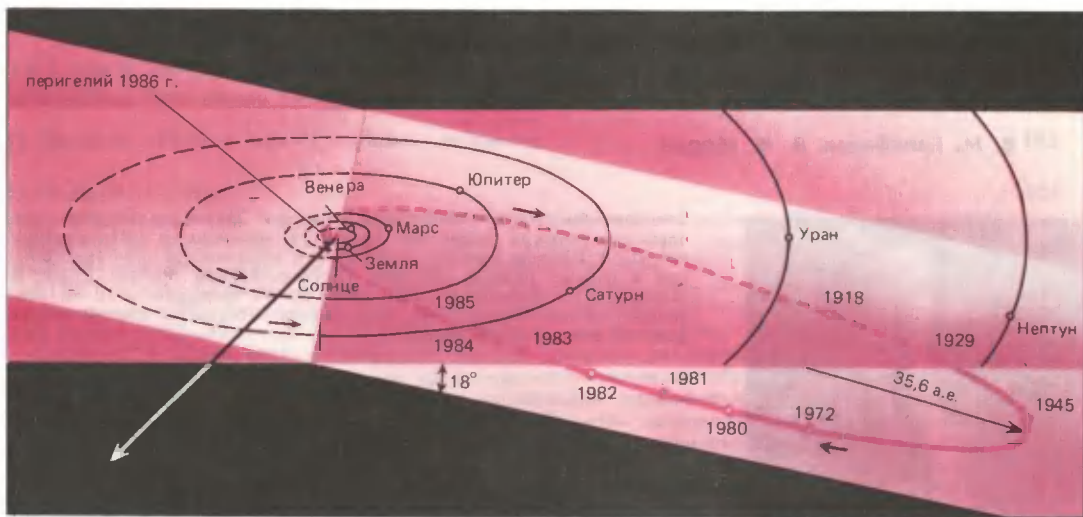
В декабре 1984 г. автоматические межпланетные станции «Вега-1» и «Вега-2» стартовали с космодрома Байконур и взяли курс к планете Венера. В июне они высадились на Венеру «десант» — посадочные ап-

параты и аэростаты, а сами под действием поля тяготения планеты совершили гравитационный маневр, т. е. изменили траектории. Все было рассчитано таким образом, чтобы орбиты станций пересеклись с орбитой кометы Галлея и встреча с ней произошла в марте 1986 г.

Мы уже рассказывали о задачах и первых результатах исследования Венеры с помощью посадочных аппаратов и аэростатов «Вега»¹. Теперь речь пойдет об исследованиях кометы. Напомним, что космическая экспедиция «Венера — Галлей» (сокращенно «Вега») проводилась с участием научных организаций не только Советского Союза, но и ряда иностранных государств — Австрии, Болгарии, Венгрии, ГДР, Польши, Франции, ФРГ, Чехословакии. Ученые этих стран вместе с советскими

директор Института космических исследований АН СССР Р. З. Сагдеев.

Важным новым элементом в проекте «Вега» был его многоцелевой характер: с помощью одного космического аппарата исследовались два различных объекта Солнечной системы — планета Венера и комета Галлея. Это потребовало новых решений и поиска «скрытых резервов» при разработке автоматических межпланетных станций; работы велись под руководством В. М. Ковтуненко.



Орбиты планет Солнечной системы и кометы Галлея. Комета обращается вокруг Солнца, двигаясь по вытянутой эллиптической орбите. Период обращения 76 лет. Ближайшее расстояние от Солнца (в точке перигелия) около 0,6 а. е. Расстояние в афелии — самой удаленной точке орбиты — 35,6 а. е. Белая стрелка — направление на точку весеннего равноденствия.

коллегами создавали научные приборы и системы, обеспечившие их работу.

Впервые в нашей стране большая космическая программа осуществлялась на основе такой сложной международной кооперации. На первых порах возникло немало трудностей, но вскоре сформировался сложный интернациональный коллектив, который хорошо справился с работой. Был создан Международный научно-технический комитет для координации работ по проекту «Вега». Его председателем являл-

Встреча «Веги-1» и «Веги-2» с кометой Галлея — самый волнующий, ключевой момент экспедиции, ведь к Венере летали уже много раз, а исследование кометы с помощью космического аппарата проводится впервые.

КОМЕТЫ — ГОСТИ С ОКРАИН СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Чем объясняется возросший интерес ученых к исследованию комет и почему именно комета Галлея была выбрана в качестве объекта № 1 для изучения с помощью специального космического аппарата?

Напомним, что в Солнечной системе, кроме самого Солнца и девяти больших планет, имеется множество так называемых малых тел: это спутники планет, астероиды, кометы, метеорные тела, имеющие самые различные размеры — от микронных частиц до глыб размером в сотни метров (по-видимому, нельзя провести четкой границы между ними и астероидами). Вещест-

¹ Балебанов В. М., Мороз В. И., Мухин Л. М. Первый этап космической экспедиции «Вега»: исследование Венеры. — Природа, 1985, № 8, с. 3.

во малых тел (по крайней мере, некоторых) содержит первичный материал, из которого около 4,5 млрд лет назад сформировались большие планеты и их спутники. Следовательно, есть основания полагать, что изучение малых тел поможет глубже понять процесс образования Солнечной системы — одну из фундаментальных проблем современной науки.

Исследования малых тел уже дали огромный вклад в планетную космогонию: мы имеем в виду результаты изучения метеоритов — уникальных образцов космического вещества, которые природа с невероятной любезностью сама «присылает» на Землю². Метеориты представляют собой осколки более крупных тел, главным образом астероидов, и образуются в результате их разрушения при взаимном столкновении. Известен класс очень малых метеоритов (так называемые частицы Браунли), имеющих, вероятно, кометное происхождение. Тем не менее мы до сих пор ясно не представляем важнейших характеристик малых тел. Особенно загадочны кометы.

В наиболее современном кометном каталоге, составленном американским астрономом Б. Мерсденом, содержатся сведения о 659 кометах, появлявшихся в Солнечной системе в период с 86 г. до н. э. по 1979 г. Большая их часть появлялась всего один раз. Кометы движутся по очень вытянутым эллиптическим, параболическим и даже гиперболическим (но очень близким к параболе) орбитам. Предполагается, что на далеких окраинах Солнечной системы на расстоянии 10—15 тыс. а. е. от Солнца находится «облако», состоящее примерно из 10^{11} комет, движущихся по приблизительно круговым орбитам. По имени одного из авторов гипотезы, голландского астронома Я. Оорта, эта часть Солнечной системы названа облаком Оорта.

Происхождение облака Оорта неизвестно. Возможно, оно образовалось одновременно с внутренней частью Солнечной системы, а может быть, было захвачено позднее. Эти далекие кометы имеют лишь очень слабую гравитационную связь с Солнцем. Под действием поля тяготения ближайших звезд некоторые из них покидают Солнечную систему, а другие, наоборот, устремляются в ее внутреннюю часть. Их

орбиты изменяются, перигелий (ближайшая к Солнцу точка) все ближе перемещается к Солнцу; наконец, кометы попадают в поле тяготения одной из планет-гигантов, и происходит особенно резкое изменение орбиты, результатом которого может стать появление «новой» кометы на земном небосклоне.

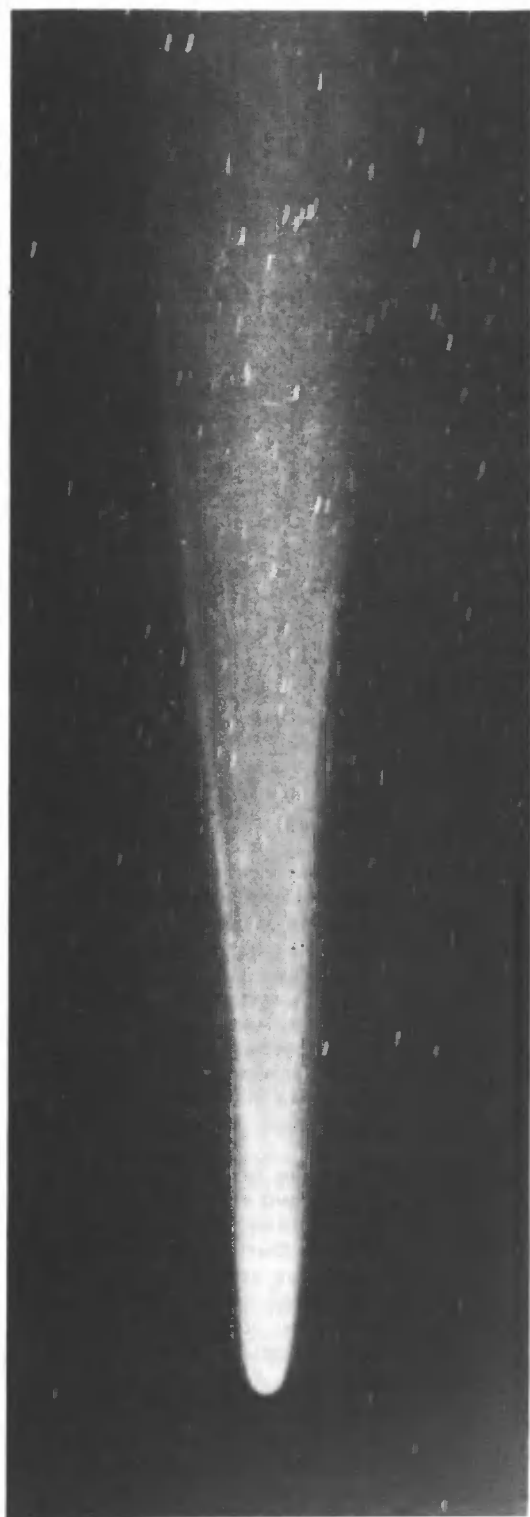
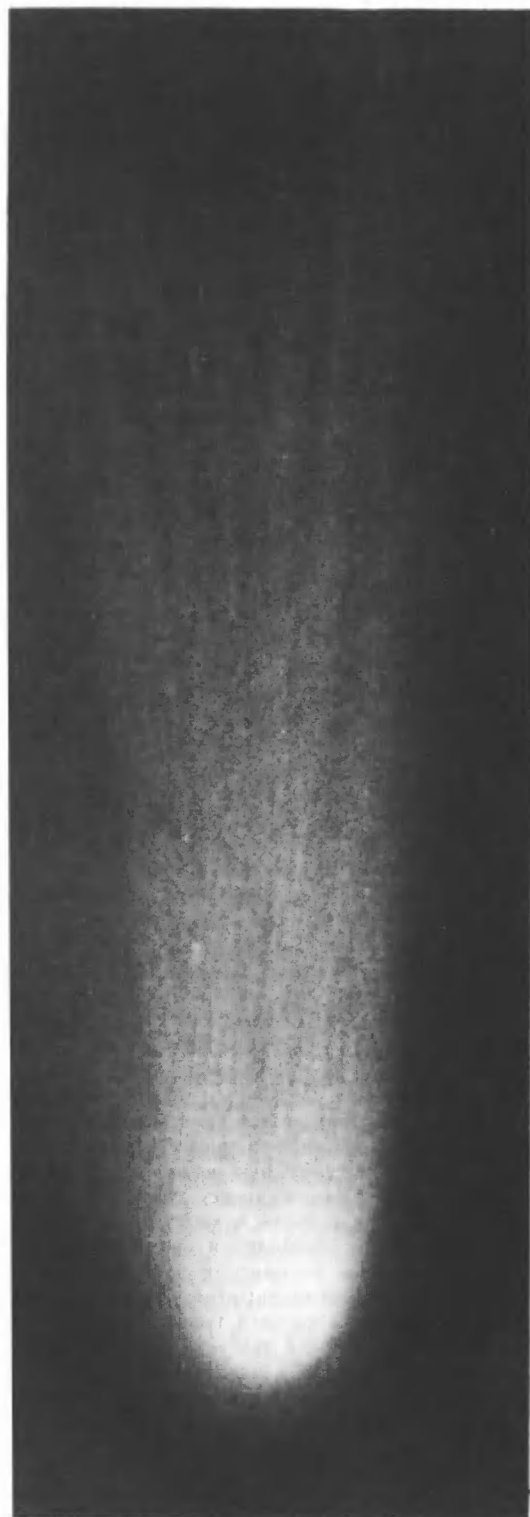
Лишь немногие из наблюдавшихся комет принадлежат к числу короткопериодических, т. е. движутся по эллиптическим орбитам с не очень большими эксцентриситетом и периодом в пределах 3—200 лет. Одна из них — комета Галлея. Всего 73 кометы возвращались два и более раз.

Комета становится хорошо видимой, когда она приближается к Солнцу на расстояние меньше 3 а. е. Растут размеры ее «головы», образуется хвост. Голова — это размытое светящееся почти круглое пятно, иногда с резкой концентрацией яркости к центру («фотометрическое ядро»). Менее яркая внешняя часть головы называется комой; впрочем, тут нет общепринятой терминологии, многие специалисты не делают различия между комой и головой. Ядром более правильно называть то невидимое тело, которое находится в самом центре головы. В ядре сосредоточена почти вся масса кометы. Неизвестно точно, какова его физическая структура, компактное ли это тело («космический айсберг»), или оно представляет собой нечто, состоящее из многих слабо связанных компонент. Ясно одно: в ядре много летучих веществ (таких, например, как обычный лед H_2O), которые по мере приближения кометы к Солнцу начинают все более интенсивно испаряться.

Кометы — самые «нестационарные» тела Солнечной системы. Кроме постепенного изменения формы и яркости по мере приближения к Солнцу (и удаления от него), часто наблюдаются всякого рода нерегулярные явления: вспышки блеска (иногда на несколько звездных величин), светлые дуги и яркие движущиеся облака в коме, светлые лучи в коме и хвосте. Этот комплекс явлений называется активностью кометы. Степень активности у разных комет различна. При многократных прохождении вблизи Солнца комета теряет летучие вещества, становится все менее и менее активной и может в конце концов совсем потерять все кометные признаки, превратившись в «тихий» астероид; предполагается, что некоторые астероиды — это ядра «умерших» комет.

Но иногда «смерть» кометы бывает не столь спокойной: комета распадается

² Космический природный объект небольших размеров называется метеорным телом, пока он остается в межпланетном пространстве, и метеоритом, если он столкнулся с Землей.



Так выглядела комета Галлея 76 лет назад. Фотографии получены в мае 1910 г., приблизительно за две недели до прохождения кометой перигелия — левая на Кроссеевском рефлекторе в США, правая — на широкоугольном рефлекторе в Чили. Длина хвоста более 10 млн км, диаметр головы около 300 тыс. км. В 1910 г. во время прохождения перигелия комета находилась между Солнцем и Землей, и условия ее наблюдений были исключительно хорошими — до нее было «всего лишь» около 30 млн км.

на две или исчезает вообще и ничего после нее не остается, кроме нового метеорного потока. Метеорные потоки часто наблюдаются также вдоль орбиты «живых» комет, в том числе кометы Галлея³. Заметим, что среди короткопериодических комет она самая яркая, самая активная и, видимо, одна из самых молодых. Вообще, жизнь таких комет в активной фазе удивительно коротка. Она длится, по-видимому, не больше нескольких тысячелетий.

Спектры свечения комет, хорошо изученные астрономами, имеют довольно сложный характер. Более или менее слабый непрерывный фон создается рассеянием солнечного света на пылевых частицах. Резкие эмиссионные линии в коме принадлежат C_2 , CN , CH , OH и другим молекулам, наблюдаются также атомные линии H , N , Na и даже Fe (на малых расстояниях кометы от Солнца). В спектре хвоста преобладают линии ионов Na^+ , C_2^+ и др. Физический механизм свечения в линиях — это резонансное рассеяние солнечного света.

К сожалению, богатая спектроскопическая информация об излучении комы не позволяет прямо установить, из чего же состоит ядро. Вероятно, там много обычного льда H_2O , но могут быть и другие молекулы, например, CO_2 , CH_4 , NH_3 . Возможно, они являются «родительскими» по отношению к более простым молекулам, радикалам и атомам, свечение которых непосредственно наблюдается.

Что произойдет, если большая комета столкнется с Землей? Трудно сказать определенно, пока мы не знаем, что представляет собой ядро кометы. Если это, действительно, космический айсберг диаметром в несколько километров, то он «пронизет» атмосферу не затормозившись, и эффект от удара будет такой, как при взрыве примерно миллиона 50-мегатонных водородных бомб. Существует предположе-

ние, что в сравнительно поздней геологической истории Земли были периоды, когда из-за особо сильных возмущений в облаке Оорта происходила подобная бомбардировка нашей планеты. Это одно из возможных объяснений резкого изменения климата, которое около 70 млн лет назад привело, по-видимому, к вымиранию динозавров.

После всего сказанного трудно усомниться в важности изучения комет! Помимо теоретического имеется и несомненный практический аспект: ведь мы не хотим оказаться в положении динозавров и одной этой, пусть даже весьма гипотетической опасности достаточно, чтобы поставить изучение комет (в частности, средствами космической техники) в число важных научных задач.

Выбор кометы Галлея в качестве объекта исследований обусловлен несколькими причинами. Во-первых, это периодическая комета с хорошо установленной орбитой. Во-вторых, среди периодических комет она самая яркая, активная и, наверное, самая молодая. В-третьих, условия наблюдения кометы Галлея с Земли в настоящее ее появление крайне неблагоприятны: в момент прохождения перигелия комета и Земля оказываются по разные стороны от Солнца, поэтому исследовать ее можно только средствами космической техники. И, наконец, в-четвертых, комета Галлея — астрономическая знаменитость. Это первая комета, появление которой было предсказано заранее⁴.

АВТОМАТИЧЕСКИЕ МЕЖПЛАНЕТНЫЕ СТАНЦИИ «ВЕГА-1» И «ВЕГА-2»

Для исследования кометы Галлея были созданы несколько автоматических межпланетных станций, или, как иногда говорят, кометных зондов, в их числе «Вега-1» и «Вега-2» (СССР), «Джотто» (Европейское космическое агентство) и японский космический аппарат «Планета А». «Вега» — самая крупная из них и ее научная программа значительно шире.

Эксперименты кометных зондов «Ве-

³ Подробнее об этом см.: Симоненко А. Н. Рожденный кометой Галлея рой метеорных тел. — Природа, 1983, № 2, с. 28.

⁴ Подробнее об истории ее открытия см.: Марочник Л. С., Скуридин Г. А. На встречу с кометой Галлея. — Природа, 1982, № 8, с. 2. Об этой знаменитой комете написано немало популярных книг. Мы рекомендуем три из них: Беляев Н. А., Чурюмов В. И. Комета Галлея и ее наблюдения. М.: Наука, 1985; Колдер Н. Комета надвигается. М.: Мир, 1984; Марочник Л. С. Свидание с кометой. М.: Наука, 1985.

ги» нацелены на изучение следующих проблем:

размеры, форма, строение и состав ядра кометы;

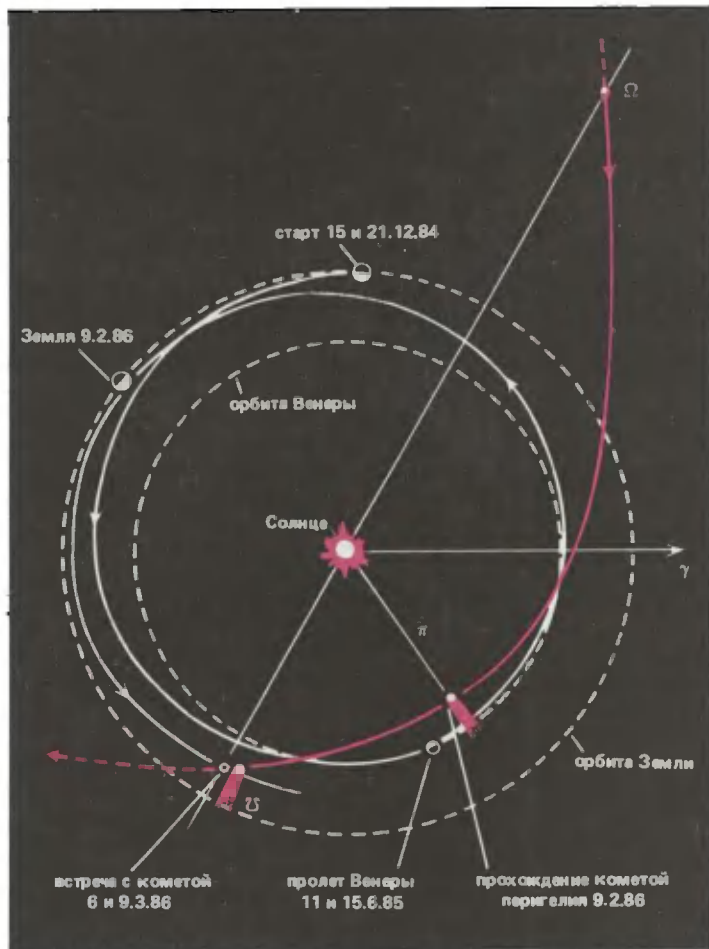
строение и динамика внутренней комы на расстояниях, не превышающих 1000 км от ядра;

химический состав газа во внутренних областях комы;

химический состав пылевых частиц, их физические характеристики;

взаимодействие солнечного ветра с кометой.

которые проходили при зарождении проекта: на каком расстоянии от ядра проложить траекторию «Веги»? Казалось бы, чем ближе, тем лучше. И какие тут могут быть особые проблемы, ведь на Венеру или Марс удалось посадить космические аппараты с погрешностью всего около 100 км. Однако приблизиться к комете Галлея на такое расстояние вряд ли возможно. Причины следующие. Во-первых, положение комет в пространстве определяется из астрономических наблюдений значительно менее точно, чем положение планет. При самых



Взаимное расположение орбит Земли, Венеры, кометы Галлея и автоматических межпланетных станций «Вега-1» и «Вега-2». Плоскости всех орбит, за исключением кометной, почти совпадают, последняя же наклонена на 18° (см. первый рис.) и дана в проекции. Линия $\Omega - \Omega$ образована пересечением плоскости орбиты кометы Галлея с плоскостью земной орбиты. Она называется линией узлов. Встреча «Веги-1» и «Веги-2» с кометой произошла вблизи «нисходящего узла» $\bar{\Omega}$ — на рисунке он расположен внизу. Чтобы вывести станцию в точку встречи, использовано гравитационное поле Венеры, изменяющее направление движения станции заранее рассчитанным образом.

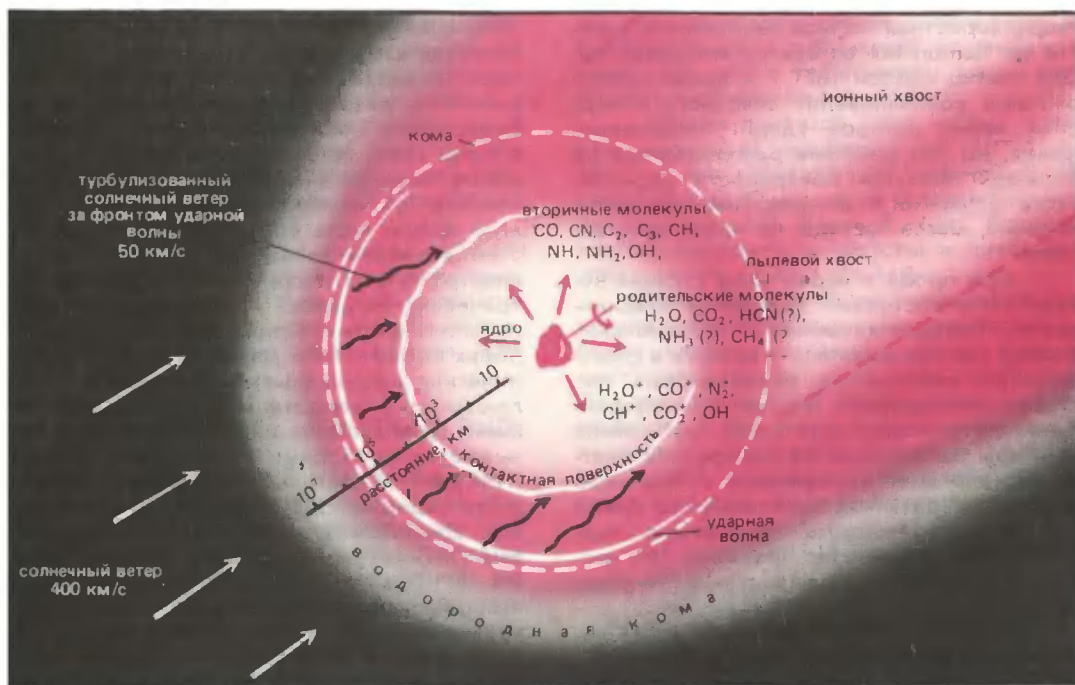
Первые четыре проблемы тесно связаны между собой, так как состав газа и пыли, характеристики их движения важны не сами по себе, а в первую очередь для решения вопроса о том, что представляет собой ядро кометы.

Вспоминаются горячие дискуссии, ко-

благоприятных обстоятельствах трудно ожидать, что погрешность в определении положения кометы Галлея окажется меньше, чем несколько тысяч километров. Между тем, если ставится задача сфотографировать ядро, желательно, чтобы космический аппарат пролетел его со стороны, освещен-

щенной Солнцем, и, следовательно, «точка прицела» должна лежать не ближе нескольких тысяч километров от ядра в направлении к Солнцу. Во-вторых, комета Галлея имеет «обратное» движение, т. е. она движется по орбите навстречу Земле и космическому аппарату. «Скорость встречи» — около 80 км/с. При такой скорости потоки кометной пыли могут оказаться весьма опасными для космического аппарата. И это вторая причина, по которой не следует прокладывать его траекторию слишком близко к ядру.

«Номинальное» (т. е. расчетное) расстояние максимального сближения было выбрано равным 10 тыс. км. Первые три задачи при этом решаются дистанционными методами, т. е. с помощью телевизионных камер и оптических спектрометров. Что же касается химического состава и физических характеристик пыли, а также поведения кометной плазмы, то тут использованы методы, предусматривающие прямой контакт с исследуемой средой: масс-спектрометры, счетчики частиц, анализаторы плазмы и т. д.



Модель физического строения кометы. Почти вся масса сосредоточена в ядре. В этой модели предполагается, что ядро — компактное тело, состоящее из замороженных газов (в том числе обычного льда H_2O), смешанных с частицами тугоплавкого вещества (силикаты, железо). Когда ядро приближается к Солнцу на достаточно близкое расстояние, глыба «грязного» льда начинает испаряться и выделяющиеся газы образуют кометную атмосферу — кому. Молекулы, покидающие ядро при испарении (так называемые родительские молекулы), разрушаются в результате фотодиссоциации и других процессов, поэтому внешняя часть комы состоит из молекул вторичного происхождения (часть из них — радикалы). Кроме того, идут процессы ионизации, образуется кометная ионосфера, взаимодействующая с солнечным ветром. Другое важное явление — увлечение испаряющимся газом частиц тугоплавкого вещества («пылинок»). Пыль разгоняется до скоростей, близких к тепловым скоростям молекул. Под действием светового давления пылинки отклоняются от радиальных траекторий и уходят в сторону, проти-

воположную направлению на Солнце, образуя пылевой хвост. Ионы отклоняются аналогичным образом солнечным ветром и формируют хвост другого типа — ионный.

В качестве базовой конструкции автоматической межпланетной станции был использован аппарат типа «Венера». Для исследований кометы потребовалось ввести несколько дополнительных систем, в том числе противопопылевую защиту и поворотную платформу для оптических приборов.

Фотометрия комет в видимой и инфракрасной области спектра позволяет примерно оценить размеры пылевых частиц в коме. Преобладают малые, не превышающие нескольких микрон, частицы,

однако расчеты показывают, что, проходя через кому на расстоянии 10 тыс. км от ядра, автоматическая межпланетная станция может встретить примерно 100 частиц диаметром около 0,1 мм и массой 10^{-6} г, а с вероятностью 10 % попадется частица массой 10^{-3} г. При скорости 80 км/с такая миллиграммовая частица прострелит космический аппарат, как пуля, и наделает немало бед. Поэтому все жизненно важные узлы станции пришлось защитить снаружи специальными противопылевыми экранами, сделанными из алюминия. Между экраном и стенкой станции имеется свободный промежуток (до 10 см). Попав в экран, сверхскоростная частица взорвется, и в месте ее попадания останется микрократер. Для частиц массой 10^{-6} г и более можно ожидать возникновения сквозного отверстия, через которое ударит плазменный факел, но его действие распределится по большой площади поверхности космического аппарата и не разрушит ее, если, конечно, масса частицы не чрезмерно велика.

При пролете через кому станция находится в состоянии трехосной стабилизации, поддерживаемом гироскопами. Между тем телевизионные камеры и спектрометры необходимо ориентировать так, чтобы они смотрели на ядро и внутреннюю часть комы. Для этого оптические приборы размещены на поворотной платформе, которая управляется с помощью оптических датчиков наведения; во время измерений платформа непрерывно поддерживает ориентацию приборов так, чтобы они «видели» центральную часть комы и ядро.

Новой на «Вегах» является также система передачи информации. Основа ее — так называемый режим непосредственной передачи: вся информация с научных приборов по мере поступления сразу транслируется на Землю. Необходимость подобного режима диктуется высказанными выше соображениями пылевой опасности. Скорость передачи информации достаточно высокая, около 65 тыс. двоичных единиц в секунду, и обеспечивает потребности всех научных экспериментов. Чтобы в соответствии с программой включать и выключать приборы, подавать на них различные команды (калибровка, изменение режима работы и т. д.), в Институте космических исследований АН СССР разработан специальный блок управления научной аппаратурой. Для сбора данных, поступающих со всех научных приборов, и приведения их в определенный порядок перед трансля-

цией используется другая специальная система — блок логики и сбора информации.

ГЛАЗА «ВЕГИ»

Оптические системы «Веги», установленные на поворотной платформе, предназначены для исследования ядра и внутренней части комы. Их на «Веге» три: телевизионная система, инфракрасный и трехканальный спектрометры. Поворотная платформа для оптических приборов разработана и изготовлена в Чехословакии.

Телевизионная система состоит из двух камер — длиннофокусной ($F=1200$ мм) и короткофокусной ($F=240$ мм). Качество изображения длиннофокусной камеры позволяет на расстоянии 10 тыс. км различать детали размером около 100 м. Разрешение короткофокусной камеры в 5 раз хуже, но зато она имеет более широкое поле зрения. Главная задача короткофокусной камеры — наведение на самую яркую часть кометы и удержание ее в поле зрения длиннофокусной камеры и спектрометров посредством выдачи электрических сигналов, управляющих движением платформы. Приемники изображения обеих камер — это матрицы из микроскопических кремниевых фотозлементов, являющиеся твердотельными телевизионными приемниками изображения. Они называются приборами с зарядовой связью (ПЗС). В ПЗС-матрице длиннофокусной камеры содержится 512 строк по 512 элементов. Диапазон чувствительности кремниевых ПЗС-матриц ограничен длинами волн 0,4 и 1,0 мкм, он лишь немного шире, чем диапазон чувствительности глаза. Для увеличения контраста изображения при съемке ядра используются фильтры, «отсекающие» наиболее яркие линии излучения газа в коме.

Обработка полученных изображений позволяет получить представление о структуре ядра кометы Галлея, его размерах, вращении, о строении внутренних частей комы. Никогда еще не удавалось заглянуть так глубоко в самое сердце кометы.

Во внутренней части комы должны светиться «родительские» молекулы, о которых мы уже упоминали (малые размеры области свечения и его спектральный диапазон — вот те причины, которые не позволяют проводить подобные измерения с Земли). Резонансные полосы излучения этих молекул расположены в диапазоне от 1 до 12 мкм, который «перекрывается» двумя приборами — инфракрасным и трехканальным спектрометрами. Инфракрас-

ный спектрометр регистрирует спектр внутренней комы (зона радиусом около 100 км) в диапазоне от 2,5 до 12 мкм.

Трехканальный спектрометр представляет собой комплекс из трех спектрометров, излучение на которые подается одним телескопом. Длинноволновый канал (диапазон 0,9—1,8 мкм) нацелен на поиск родительских молекул, в первую очередь воды. Два других канала охватывают диапазоны 0,12—0,29 и 0,28—0,8 мкм; они предназначены для регистрации линий и полос вторичных составляющих — атомных (H, O, C, N) и молекулярных (OH, C₂, CN, NH и др.).

Инфракрасный спектрометр разработан и изготовлен во Франции, испытания его в СССР проводились французскими и советскими специалистами совместно, и также совместно проводится интерпретация данных. Трехканальный спектрометр разработан и изготовлен кооперацией научных учреждений Болгарии, СССР и Франции.

Оптические исследования газового состава дополняются прямыми его измерениями — с помощью масс-спектрометра нейтрального газа; он разработан в ФРГ при участии специалистов ВНР и СССР.

РАССКАЗЫВАЕТ КОМЕТНАЯ ПЫЛЬ

Потоки кометной пыли причинили немало хлопот при разработке проекта «Вега» — тут и опасность механического повреждения, и проблема видимости ядра. Нельзя ли, однако, от этой опасной, летящей с огромной скоростью пыли получить некую пользу? Оказывается, можно, причем большая скорость удара может быть с успехом использована следующим образом. Мы уже упоминали о том, что удар частицы, летящей со скоростью в несколько десятков километров в секунду, приводит к настоящему взрыву. Почти вся частица вместе с частью материала мишени, подвергшейся воздействию, превращается в облако ионизованного газа — плазму. Можно «затянуть» эту плазму в масс-спектрометр, определить ее состав и получить таким образом данные об элементах, входящих в состав частицы, а следовательно, и ядра кометы, из которого эти частицы были вырваны. Такова идея эксперимента ПУМА (расшифровывается как «пылеударный масс-спектрометр»). Он разработан совместно специалистами ФРГ, СССР и Франции.

На входе прибора расположена ми-

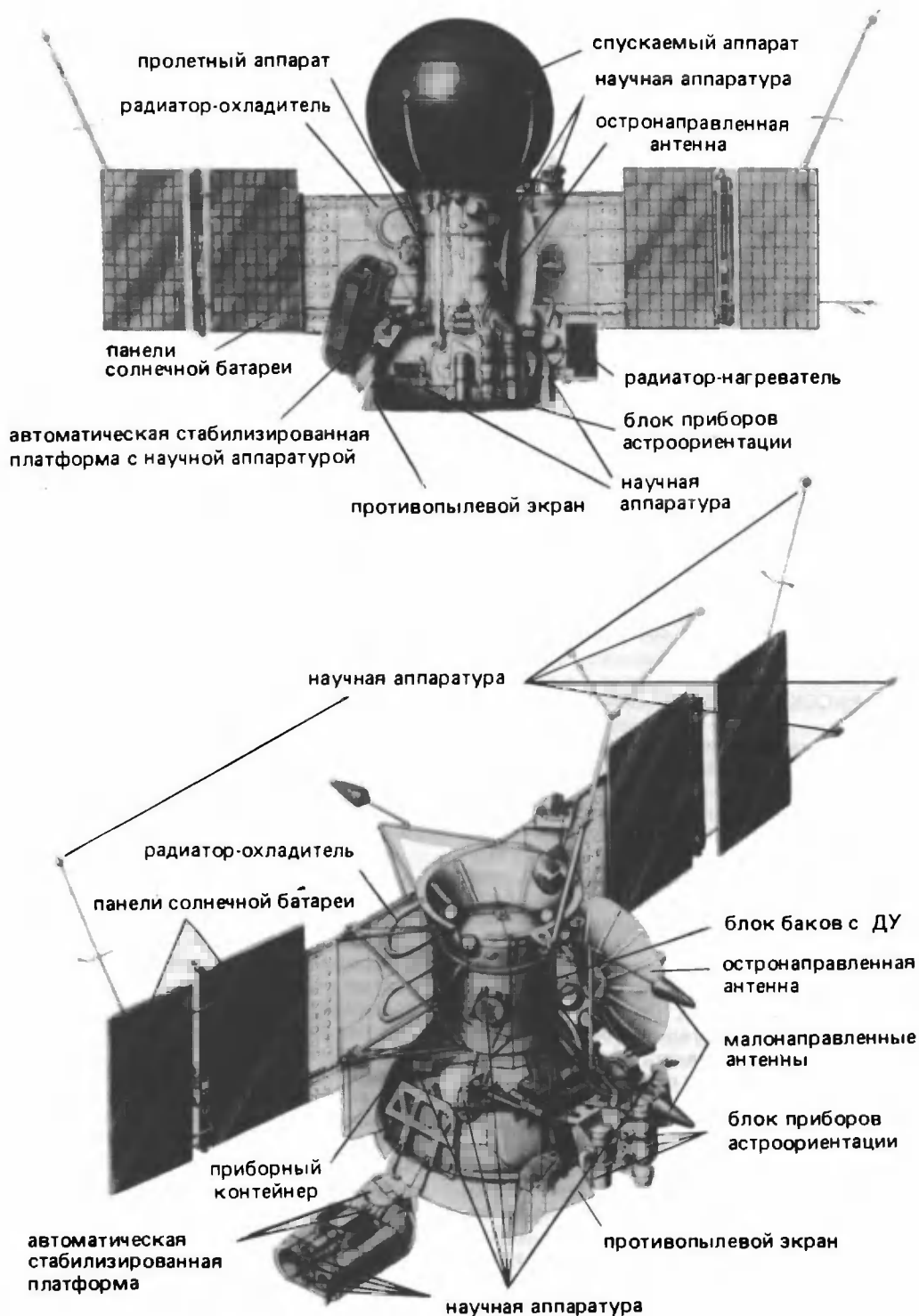
шень из серебра высокой чистоты. Малейшие загрязнения мишени недопустимы; поэтому во время перелета она закрыта, ее открыли только за 10 дней до встречи с кометой. Сетка затягивает ионы внутрь масс-спектрометра. Массу ионов определяют «времяпролетным методом»: измеряется длительность прохождения некоторого базового расстояния ионами разных масс, но одинаковой энергии. Прибор должен обладать высокой чувствительностью, так как количество ионов не так уж велико; оно составляет 10^4 — 10^6 для малых частиц (с массами 10^{-16} — 10^{-14} г). Для больших частиц не все ионы могут быть использованы, так как в этом случае необходима их предварительная отбраковка по энергиям из-за того, что с увеличением массы возрастает энергетический разброс.

Общий диапазон масс частиц, которые исследует прибор, — от 10^{-16} до 10^{-10} г, что соответствует диаметрам частиц от 0,2 до 20 мкм, если условно принять, что их плотность равна 3 г/см³. Определяются элементы и изотопы в диапазоне массовых чисел от 1 до 110.

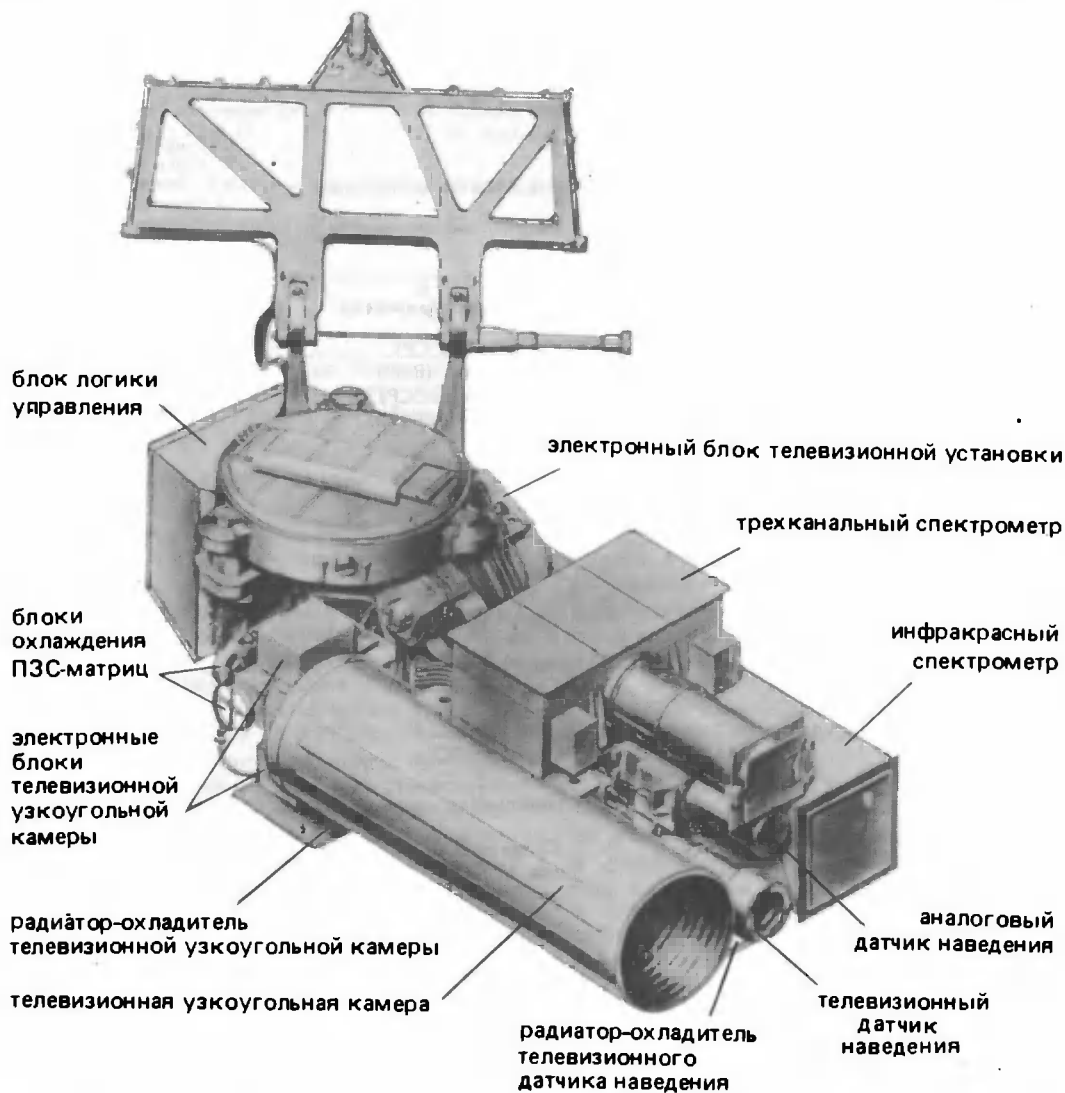
Три других прибора измеряют физические характеристики пылевого потока — число частиц различной массы (спектр масс), их размеры, импульсы, плотность. Для этих измерений использованы разные эффекты, в том числе пьезоэлектрический, ионизация при ударе, световые вспышки при ударе, изменение светового потока от Солнца при пробивании тонкой пленки.

КОМЕТНАЯ ПЛАЗМА И СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР

Фотоионизация газа, покидающего ядро, приводит к образованию вокруг ядра плазменной оболочки (ионосферы), состоящей из ионизованных молекул. Вместе с нейтральным газом ионы движутся со скоростью около 1 км/с, однако это движение подчиняется другим законам. На нейтральный газ не действуют никакие силы, кроме гравитации и светового давления. А на кометные ионы воздействует еще и солнечный ветер — поток плазмы, расширяющейся в направлении от Солнца и имеющей солнечный химический состав, т. е. состоящей в основном из водорода. Скорость ионов солнечного ветра примерно равна 400 км/с, а их концентрация в точке встречи с кометой около 7 частиц/см³. Они несут с собой слабое магнитное поле (напряженность 8 нТл). При встрече солнечного ветра с кометной ионосферой должна образоваться ударная волна, усилиться магнит-



Автоматическая межпланетная станция «Вегга».



Автоматическая стабилизированная платформа с оптическими приборами.

ное поле, возникнуть волновые процессы, сопровождающиеся электромагнитными колебаниями. В магнитном поле солнечного ветра может происходить ускорение кометных ионов до высоких энергий — десятков и сотен килоэлектронвольт.

Для исследования этих процессов на «Вегах» имеется хорошо продуманный комплекс приборов. Один из них — магнитометр, разработанный австрийскими учеными. Спектрометр кометной плазмы, созданный специалистами ВНР, СССР и ФРГ, предназначен для исследования концент-

рации, состава и энергии ионов как солнечного ветра, так и кометной плазмы. Для обнаружения ионов высоких энергий, ускоренных магнитным полем солнечного ветра, служит спектрометр частиц высоких энергий (та же кооперация стран). Два прибора регистрируют плазменные волны — низкочастотные (меньше 1 кГц) и высокочастотные (меньше 300 кГц). Анализ результатов измерений, проведенных с помощью приборов плазменного комплекса, позволил существенно уточнить представления о сложных явлениях, протекающих при взаимодействии солнечного ветра с кометой; до недавнего времени эти представления основывались только на наблюдениях ионных хвостов.

Эксперименты по исследованию кометы Галлея на автоматических межпланетных станциях «Вега-1» и «Вега-2».

Прибор, эксперимент	Ответственные за эксперимент	Специалисты других стран и международных организаций* — участники эксперимента
А. Оптические эксперименты		
Телевизионная система ТВС	Р. З. Сагдеев (СССР) Л. Сабо, К. Сего (ВНР) Г. А. Аванесов (СССР) Р. Крювилье (Франция)	ЧССР ГДР
Инфракрасный спектрометр ИКС (2,5—12 мкм)	М. Комб (Франция) В. И. Мороз (СССР) Ж.-М. Ламарр (Франция) Ж.-Ф. Крифо (Франция)	—
Трехканальный спектрометр ТКС (0,3—1,7 мкм)	М. Гогошев (НРБ) В. А. Краснопольский (СССР) Г. Морельс (Франция)	—
Подвижная платформа для оптических приборов	Б. Вальничек (ЧССР) Г. Г. Сасин (СССР)	—
Аналоговый датчик наведения платформы АДН-В	Я. Л. Зиман (СССР) И. Захаров (ЧССР)	—
Б. Исследование пыли		
Пылеударный масс-спектрометр ПУМА (химический состав пылевых частиц)	Р. З. Сагдеев (СССР) И. Киссель (ФРГ) Ж.-Л. Берто (Франция)	—
Счетчик пылевых частиц СП-1 (масса $>10^{-16}$ г)	О. Л. Вайсберг (СССР)	—
Счетчик пылевых частиц СП-2 (масса $>10^{-16}$ г)	Е. П. Мазец (СССР)	—
Счетчик пылевых частиц ДУСМА (масса $>1,5 \cdot 10^{-13}$ г)	Дж. Симпсон (США) Р. З. Сагдеев (СССР) Л. В. Ксанфомалити (СССР)	ФРГ, ВНР
Регистратор пылевых частиц «Фотон»	В. Е. Фортов (СССР) С. И. Анисимов (СССР)	—
В. Исследования плазмы		
Магнитометр МИША	В. Ридлер (Австрия) Г. Е. Ерошенко (СССР)	—
Спектрометр кометной плазмы ПЛАЗМАГ	К. И. Грингауз (СССР) Т. Гомбоши (ВНР)	ФРГ
Спектрометр энергичных частиц Тюнде-М	А. Шомоди (ВНР) К. И. Грингауз (СССР)	ФРГ ЭСТЕК**
Измеритель нейтрального газа ИНГ	Е. Кеплер (ФРГ) В. В. Афонин (СССР)	ВНР США

Анализатор плазменных волн высокочастотный АПВ-В	К. Бегин (Франция) Р. Грард (ЭСТЕК) М. Э. Могилевский (СССР)	—
Анализатор плазменных волн низкочастотный АПВ-Н	П. Обертс (ПНР) С. И. Климов (СССР)	ЧССР

Г. Системы управления научной аппаратурой и сбора информации

Блок управления научной аппаратуры БУНА	Б. С. Новиков (СССР)	ВНР
Блок логики и сбора научной информации БЛИСИ	Б. С. Новиков (СССР) А. Гшвиндт (ВНР)	—

* СССР, Австрия, НРБ, ВНР, ГДР, ПНР, Франция, ЧССР участвовали в проекте «Вега» на уровне национальных космических организаций, ученые ФРГ и США — на уровне отдельных институтов.

** Научный и технологический центр Европейского космического агентства.

ОПЕРАЦИЯ «ЛОЦМАН»

Космический аппарат «Джотто» гораздо меньше «Веги», но снабжен более мощной пылевой защитой, позволяющей подойти значительно ближе к ядру кометы. Некоторые из научных приборов «Джотто» очень похожи на приборы «Веги»; например, на нем тоже имеется пылеударный масс-спектрометр (над которым работала та же группа ученых из ФРГ). Как и на «Веге», на нем установлен комплекс приборов для исследования плазмы. Но существуют большие отличия — намного проще устроены «глаза»: нет спектрометров, а система получения изображения основана на принципе механического сканирования (линейка приемных элементов + осевое вращение аппарата). Не останавливаясь на детальном описании научной аппаратуры «Джотто», отметим, что обе научные программы в значительной мере дополняют друг друга.

Было запланировано, что номинальное расстояние, на котором «Джотто» пролетит от ядра, должно составить 500 км. Однако недостаточная точность определения координат ядра наземными средствами заставляла сомневаться в реальности этого плана; уже подумывали о том, что дистанцию следовало бы увеличить. Но тут обратили внимание на то, что «Веги», пролетающие вблизи ядра на несколько дней раньше «Джотто», могут уточнить орбиту кометы, и если результаты будут получены быстро, их можно использовать для коррекции орбиты «Джотто». В принципе, нет никаких трудностей, однако все должно быть сделано надежно и оперативно (дорога ложка к обеду). Для осуществления этой идеи — коррекции орбиты «Джотто» на основе данных «Веги» — была

подготовлена тщательно спланированная программа «Лоцман», предусматривающая быструю обработку навигационных данных «Веги» и передачу их Европейскому космическому агентству для использования в управлении полетом «Джотто». Это еще один прекрасный пример международного сотрудничества в мирном освоении космоса.

ВСТРЕЧА СОСТОЯЛАСЬ. ПЕРВЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

6 марта 1986 г. в 10 ч 20 мин московского времени «Вега-1» прошла через голову кометы Галлея на расстоянии 8900 км от ядра; 9 марта в то же время на расстоянии в 7900 км от него прошла «Вега-2». В пролетном сеансе измерения начинались примерно за 2,5 ч до момента наибольшего сближения и заканчивались через час после сближения. Это соответствовало расстояниям до кометы примерно 600 тыс. км («Вега-1») и 250 тыс. км («Вега-2»).

Научная программа исследования кометы полностью выполнена. Расскажем о самых первых ее результатах.

Получены фотографии ядра и его окрестностей. Ядро кометы Галлея оказалось компактным телом неправильной формы размером примерно $14 \times 7,5$ км. Отражательная способность его поверхности, по видимому, очень низкая — всего несколько процентов. На стороне, обращенной к Солнцу, поверхность замаскирована слоем пыли, выбрасываемой из глубины ядра под действием газовых потоков. Потребуется детальный фотометрический анализ всех снимков, чтобы получить более точное представление о форме ядра и характере его поверхности. Но главная задача — выбор между различными моделями физической структуры ядра — решена:



Область ядра кометы Галлея — изображение получено телевизионной системой «Вега-2» в момент максимального сближения. Фильтр выделял излучение в ближней инфракрасной области (длины волн 0,7—1,0 мкм), экспозиция 0,32 с. Размер кадра соответствует площади $26 \times 25,6$ км, угол Солнце — ядро — «Вега» равен примерно 30° . Расстояние от ядра около 8000 км, скорость движения межпланетной станции относительно ядра примерно 75 км/с. По-видимому, ядро окружено коконом пыли, которая выбрасывается с поверхности газовыми продуктами испарения летучих веществ, содержащихся в ядре [вероятно, обычный лед H_2O с вкраплением в его кристаллическую решетку других молекул, в частности CO_2]. «Вега-1» и «Вега-2» получили несколько сот изображений внутренней области кометы с близкого расстояния. Телевизионная система для этого уникального эксперимента была разработана международным коллективом специалистов под руководством Г. А. Аванесова.

с уверенностью можно утверждать, что ядро кометы Галлея представляет собой компактный «космический айсберг». В нем перемешаны летучие вещества, льды, определяющие специфику поведения кометы, с тугоплавкими соединениями, и по крайней мере в поверхностных слоях последние преобладают.

С помощью радиометрического канала инфракрасного спектрометра было зарегистрировано сильное инфракрасное излучение из области ядра в спектральном диапазоне 2,5—12 мкм; оно соответствует абсолютно черному телу с температурой около 400 К. Это значительно больше, чем предсказывалось теоретическими расчетами. Пока неясно, где формируется излу-

чение — на поверхности ядра, в пылевом слое, висящем над поверхностью, а может быть, и здесь и там. Только дальнейший анализ данных позволит разобраться в этом вопросе. Кроме потока от ядра, определен характер распределения поверхностной яркости в инфракрасном диапазоне.

Инфракрасный спектрометр зарегистрировал также интенсивные полосы излучения молекул водяного пара и двуокиси углерода (длины волн 2,7 и 4,3 мкм, соответственно) в той части газовой атмосферы, которая непосредственно примыкает к ядру — внутри сферы радиусом в несколько сотен километров. Полоса H_2O с длиной волны около 1,4 мкм зарегистрирована и трехканальным спектрометром. Таким образом, установлено, что в число «родительских» кометных молекул входят, в первую очередь, эти два газа. Несомненно, однако, что набор «родительских» молекул более широк, он включает, вероятно, и органические соединения, поскольку наблюдаются их осколки.

Огромное количество спектров получено «визуальным» каналом трехканального спектрометра; по ним идентифицированы около 15 «вторичных» молекул (OH , CH , C_2 , CN и др.), пространственное распределение которых в центральной области комы никогда не изучалось, да и не могло быть изучено наземными средствами.

Прямые измерения ионного состава комы были успешно проведены с помощью комплекса ПЛАЗМАГ; получены количественные данные о концентрации различных ионов — H^+ , O^+ , C^+ , CO^+ , CO_2^+ , Fe^+ , OH^+ , H_2O^+ , CN^+ . По предварительным оценкам, комета в момент встречи со станцией выбрасывала в космическое пространство около 50 т газа ежесекундно, что свидетельствует о состоянии очень высокой активности.

Около 2000 пылевых частиц «выловил» пылеударный масс-спектрометр ПУМА и проанализировал их состав. Он оказался очень сложным — многие частицы содержат одновременно легкие (H , C , O) и тяжелые (например, Fe) элементы. Имеются частицы с преобладанием легких компонент.

Огромное количество событий зарегистрировали счетчики пылевых частиц. Неожиданно много оказалось малых частиц, массой до 10^{-16} г. На расстоянии около 10 000 км от ядра счетчик пыли СП-1 фиксировал до 2000 ударов на квадратный дециметр поверхности в секунду, вызван-

ных попаданием частиц массой, превышающей 10^{-16} г. Прибор «Фотон» сообщил о попадании отдельных частиц массой больше 10^{-6} г.

После прохождения сквозь кометную пыль заметно уменьшилась мощность солнечных батарей, вышли из строя отдельные приборы, не имевшие специальной защиты, но в целом обе станции прекрасно перенесли это тяжелое испытание и сохранили работоспособность.

Плазменные приборы почувствовали приближение к комете (по измерениям характеристик солнечного ветра) на расстоянии около 7 млн км от нее. На расстоянии около 1 млн км «Веги» прошли через фронт ударной волны, образованной при обтекании кометы солнечным ветром. Расположение фронта соответствовало расчетам, но профиль оказался довольно размытым. Магнитное поле на расстоянии 10 000 км от кометы достигало 70—75 нТ, т. е. было в 10 раз больше, чем в свободном солнечном ветре перед фронтом ударной волны.

Блестяще удалась операция «Лощман». По данным обеих «Вег» были уточнены элементы орбиты кометы Галлея. Это позволило 14 марта провести космический аппарат «Джотто» в 550 км от ядра кометы. Хотя из-за бомбардировки пылевыми частицами связь с «Джотто» вблизи перигея была потеряна, он тоже выполнил все свои научные задачи. Удалось получить изображения ядра с высоким разрешением; экспресс-анализ этих изображений подтвердил основные характеристики ядра, установленные по данным «Вег». Плазменные эксперименты показали, что магнитное поле исчезает на расстоянии около 5000 км от ядра. Здесь образуется «магнитная полость». Ее существование было предсказано теоретически, измерения «Джотто» впервые позволили проверить это предсказание.

*

В исследованиях кометы Галлея объединились усилия ученых разных стран на самых разных уровнях — тут и совместное создание приборов, взаимопомощь между целыми проектами, общий «банк» результатов наземных астрономических наблюдений. Опыт весьма обнадеживающий; он позволяет надеяться, что в будущем, несмотря на различия в социальных системах, народы Земли смогут объединить усилия в еще более сложных делах как за пределами нашей планеты, так и на ней самой.

Простагландины

С. Д. Варфоломеев



Сергей Дмитриевич Варфоломеев, доктор химических наук, заведующий отделом биокинетики Межфакультетской проблемной научно-исследовательской лаборатории молекулярной биологии и биоорганической химии им. А. Н. Белозерского Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Занимается изучением кинетики и механизмов биохимических процессов. Автор 10 монографий, в том числе: Биокинетика (в соавторстве с И. В. Березиным). М., 1979; Кинетические методы в биохимических исследованиях (в соавторстве с С. В. Зайцевым). М., 1982; Химическая и биологическая кинетика (коллективная монография). М., 1983; Простагландины — молекулярные биорегуляторы (в соавторстве с А. Т. Мевх). М., 1985. Лауреат премии Ленинского комсомола (1974) и Государственной премии СССР (1984).

В научных журналах сведения о простагландинах — одной из групп регуляторов биохимических реакций в живом организме — публикуются уже больше 20 лет. Тем не менее их поток все увеличивается, с 1972 г. даже стал издаваться международный специализированный журнал «Prostaglandins» — редчайший случай в научной литературе, чтобы периодическое издание было посвящено только одному типу соединений. Чем же вызван огромный интерес к простагландинам химиков, физиологов, биохимиков, фармакологов, клиницистов? Этот интерес безусловно связан с необычайно высокой биологической активностью простагландинов, их прямым или опосредованным участием во многих физиологических процессах. Исключительно важна роль простагландинов и тромбоксанов (сейчас их объединяют под общим названием — протаноиды) в работе кровеносной системы, в репродуктивной функции, они принимают участие в развитии воспалительных процессов и иммунного ответа. С действием простагландинов связаны побочные эффекты (язвенная болезнь и язва желудка) аспирина — всем известного прекрасного жаропонижающего и болеутоляющего средства, возможно, и одна из форм гемофилии.

Легко понять, что даже не очень подробный рассказ о простагландинах едва ли поместился бы в одной книге. Поэтому на нескольких страницах статьи мы вынуждены лишь кратко коснуться сведений о протаноидах, в большинстве случаев даже не упоминая имен исследователей. Желющих ознакомиться с простагландинами подробнее мы отсылаем к списку рекомендуемой литературы, который помещен в конце статьи. Более подробно мы расскажем в этой статье о собственных исследованиях кинетики биосинтеза простагландинов и регуляции действия синтезирующих их ферментов. Но и здесь мы вынуждены избегать всех кинетических расчетов (хотя именно на их основе сделаны все выводы статьи), которые подробно изложены в только что вышедшей книге¹.

ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ

Еще в начале нашего века было известно, что водные и спиртовые экстракты, полученные из везикулярных (парных половых) желез многих видов животных и предстательной железы человека,

¹ Варфоломеев С. Д., Мевх А. Т. Простагландины — молекулярные биорегуляторы. М., 1985.

понижают кровяное давление у собак и кроликов. Тогда же было сделано предположение о существовании в простате «неизвестного сосудистого гормона». До 30-х годов это вещество оставалось загадочным; правда, никто из исследователей и не пытался выделить его из таких экстрактов и дать ему характеристику.

И Ульф фон Эйлер, шведский физиолог, с чьим именем связывают открытие простагландинов, обнаружил их (вернее, одно вещество) случайно в 1934—1936 гг., пытаясь изучить известную в то время субстанцию Р — вещество белковой природы, обладающее способностью понижать кровяное давление и стимулировать сокращение стенок кишечника. Однако, вопреки ожиданию, активное вещество экстрактов простаты и семенной жидкости он обнаружил во фракции жирорастворимых кислот, а не в белковой фракции. У. Эйлер описал некоторые химические и фармакологические свойства активного экстракта, назвав его простагландином, и предположил, что простагландин имеет широкое регуляторное значение в организме. Но ни выделить вещество в чистом виде, ни изучить химическую структуру в то время не позволял примитивный уровень аналитических способов исследования.

Работу над простагландинами продолжил ученик Эйлера С. Бергстрем, перед которым стояла задача выделить в кристаллическом виде активное начало, т. е. простагландин, из экстрактов простаты и семенной жидкости баранов. Вначале С. Бергстрему удалось сделать немного: он выяснил только, что простагландин находится во фракциях вместе с ненасыщенными жирными оксикислотами, и вынужден был прервать дальнейшие исследования на несколько лет. Одной из главных причин, обусловивших этот перерыв, были затруднения с исходным материалом для выделения простагландинов — везикулярными железами барана, самым богатым простагландинами источником. Но поскольку уже к тому времени биохимики и фармакологи заинтересовались простагландинами, в 1956 г. в ряде стран Северного полушария была организована специальная программа исследований простагландинов, в которую вошел и сбор замороженных везикулярных желез барана.

Уже в следующем году С. Бергстрем и Дж. Шьевалл получили несколько миллиграммов индивидуального вещества в кристаллическом состоянии и назвали его

простагландин F за его растворимость в фосфатном буфере. Полученного количества хватило лишь на то, что бы установить, что простагландин F — это ненасыщенная жирная кислота, определить температуру его плавления и продемонстрировать способность в концентрации всего $5 \cdot 10^{-9}$ г в мл раствора давать хороший эффект по сокращению гладкой мышцы. Затем в кристаллическом же состоянии было получено еще одно вещество подобного типа — простагландин E (обозначение возникло от слова *ester* — эфир, которым извлекался этот простагландин). Оба соединения были одинакового молекулярного веса и очень сходного строения, но в корне различались биологическими свойствами: простагландин E понижал кровяное давление, а простагландин F сокращал гладкую мускулатуру.

Работы по простагландинам развивались быстрыми темпами, и за 1972—1976 гг. С. Бергстрем, Б. Самуэльссон и Дж. Вейн получили в чистом виде еще 10 простагландинов, установили их структуру и определили биологические свойства. В 1979 г. Б. Самуэльссон с коллегами открыл еще один тип соединений — близкие простагландинам лейкотриены.

Выделение простагландинов, изучение структуры и свойств — работа чрезвычайно трудная: мало того, что их концентрации в объектах выделения очень низки, вещества эти крайне неустойчивы, они теряют свою биологическую активность, по которой следят за веществом в ходе его выделения, в течение 1—2 мин. Недаром за исследования простагландинов С. Бергстрем, Б. Самуэльссону и Дж. Вейну в 1982 г. была присуждена Нобелевская премия².

Сейчас известно уже около 30 природных протаноидов. Они разделены на группы A, B, C, D, E, F, G, I. Краткое обозначение протаноидов складывается из двух букв английского *prostaglandine* и *thromboxane* или русского написания, третья буква в этом обозначении указывает на принадлежность к той или иной группе, например: PGF, PGF — простагландин F; TxA, TxA — тромбоксан A.

Где же сосредоточен синтез этих многочисленных соединений и какова их роль в живом организме?

² Лауреаты Нобелевской премии 1982 года. По медицине — С. Бергстрем, Б. Самуэльссон и Дж. Вейн. — Природа, 1983, № 1, с. 96.

НЕКОТОРЫЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ

Эти соединения, по-видимому, вездесущи, их действие сказывается на всех уровнях регуляции физиологических функций. Они способны изменять активность ферментов, влиять на синтез гормонов и корректировать их действие на различные органы и ткани. Дисбаланс в их синтезе приводит к развитию многих заболеваний.

Как правило, в одном типе клеток синтезируется один тип простагландинов, а в органе или ткани проявляется действие пары простагландинов-антагонистов, от соотношения концентраций которых зависит нормальное или патологическое состояние этого органа или ткани. Так, в тканях дыхательных путей образуются простагландины F_2 и E_2 (цифрой обозначается число двойных связей в молекуле простагландина), причем первый из них синтезируется в легочной ткани и способен вызывать сокращение мышцы бронхов, а второй — в бронхах, но оказывает прямо противоположное действие, т. е. расслабляет их. Сейчас уже установлено, что усиление синтеза PGF_2 и понижение концентрации PGE_2 приводят к возникновению разных форм бронхиальной астмы, изменение уровня этих простагландинов зафиксировано и у больных пневмонией и бронхитом.

В плазме и сыворотке крови обычно содержатся все природные простагландины и (или) продукты их превращений. Однако все они, за исключением двух (PGI_2 , или простациклина, и TxA_2), попадают в кровь из других органов. В самой же кровеносной системе синтезируются простациклин I_2 и тромбоксан A_2 , по их действию тоже вещества-антагонисты. Синтезируемый в эндотелиальных клетках сосудистых стенок простациклин предотвращает прилипание тромбоцитов к стенкам и образование тромбов, а тромбоксан, синтезируемый тромбоцитами, наоборот, способствует их слипанию, агрегации, т. е. процессам, которые обеспечивают прекращение кровотечения, вызванных повреждением сосудистой стенки. В норме действие простациклина и тромбоксана сбалансировано, этот же баланс обеспечивает способность крови сохранять жидкое состояние, поддерживает тонус сосудов и артериальное давление, необходимый кровоток в сердце, мозге, почках, легких.

В препаратах из мозговой ткани обычно обнаруживаются простаиноиды всех известных классов. Однако их набор в центральной нервной системе, по-видимому,

специфичен для каждого вида животных. Например, в мозге крысы синтезируется в основном простагландин D_2 , у человека же его нет совсем, а в мозге морской свинки он образуется в равных с простагландином F_2 количествах. И все же простагландин D_2 считается свойственным именно нервным тканям. Введенные в мозг подопытных животных простагландины оказывают влияние на скорость сердцебиения, частоту дыхания, температуру тела, на синтез гормонов и многие другие реакции в организме.

В репродуктивных органах образуются в основном те же, что и в тканях дыхательной системы, простагландины F_2 и E_2 , причем в половых железах и семенной жидкости их больше, чем в любом другом органе. Пока неясна роль простагландинов, образующихся в семенной жидкости, а влияние PGF_2 и PGE_2 , вырабатываемых в женских половых органах, на родовую деятельность было, пожалуй, тем фактором, который привлек громадное число исследователей к простагландинам.

Приведенные примеры — лишь небольшая часть информации о влиянии простагландинов на физиологические функции живого организма. Многие имеющиеся сейчас сведения противоречивы или недостаточны, но это возбуждает еще больший интерес к простагландинам самых разных исследователей.

Что же это за соединения, к какому классу биологически активных веществ они относятся?

ПРОСТАГЛАНДИНЫ — НОВЫЙ ТИП БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ

В любом живом организме бесчисленное множество одних молекул превращается в другие, и этот бесконечный поток веществ обеспечивает материальное существование живого. Молекулярные процессы в организме очень хорошо организованы, строго сбалансированы входы и выходы каждого соединения, точно обусловлена пространственная и временная очередность событий. Как же устанавливается столь строгий порядок в такого рода сложных биологических системах, как организм? Какие свойства системы позволяют ей сохранять организованность операций, не упустить из-под контроля какие-то процессы, сохранить динамически подвижное стационарное состояние? Удивительно стройная и строгая упорядоченность биохимических реакций обеспечивается действием регуляторов.

Известно, что в живом организме обмен веществ регулируется на нескольких уровнях. Основные из них — это генетический и ферментативный, тесно связанные между собой. Нуклеиновые кислоты задают программу синтеза специфических биологических катализаторов — ферментов, а те обеспечивают проведение самых разнообразных химических реакций. С помощью ферментов синтезируются все соединения, участвующие в обмене веществ, в том числе принципиально важные регуляторы различных реакций.

По месту действия регуляторы можно разделить на вне- и внутриклеточные, а по размеру молекул — на низко- и высокомолекулярные. Внеклеточные низкомолекулярные регуляторы, к которым относятся, например, гормоны, синтезируемые в специализированных органах, взаимодействуют с рецепторами клеточных мембран, а внутриклеточные управляют работой ферментов и генетического аппарата клетки. Простагландины можно внести в число внутриклеточных низкомолекулярных регуляторов. Но сразу же следует сделать оговорку: они не всегда действуют внутри клетки, в которой синтезируются. Например, простагландин F_2 , вырабатываемый в матке, действует на желтое тело, а простагландин I_2 из клеток эндотелия — на тромбоциты. Этим они скорее напоминают взаимодействия гормонов с клеткой, и нередко простагландины называют внутриклеточными гормонами.

В действительности же простагландины оказались новым типом регуляторов, отличным от известных до них регуляторов биохимических реакций. Во взаимодействиях, подобных гормональным, простагландины участвуют не прямо, а через вездесущий, тоже низкомолекулярный внутриклеточный регулятор — циклический аденозинмонофосфат (цАМФ).

Понять разносторонние функции простагландинов нельзя, если не проследить за их синтезом в организме. Попробуем это сделать.

ИЗ ЧЕГО И КАК ОБРАЗУЮТСЯ ПРОСТАГЛАНДИНЫ

Первый этап в изучении простагландинов закончился в 1964 г. К этому времени были выявлены биологические свойства индивидуальных простагландинов, некоторые соединения были получены в кристаллическом состоянии, определена их

структура и найдены их предшественники. Ими оказались ненасыщенные, с несколькими двойными связями, жирные кислоты; в частности, предшественником первых известных тогда простагландинов была арахидоновая кислота.

Чтобы получить эти первые результаты потребовалось переработать несколько тонн везикулярных желез барана. Естественно, что стоимость первых кристаллических простагландинов оказалась чрезвычайно высокой (даже сейчас 1 г стоит от 25 до 90 тыс. долл.). Нужно было научиться получать их химическим способом. Разработкой таких методов занялось громадное число исследователей, и первые химически синтезированные простагландины появились уже через несколько лет. Однако и химический синтез был очень дорог.

Одновременно с разработкой химического синтеза простагландины пытались получить и иначе. В лабораториях С. Бергстрема (Швеция) и Д. ван Дорпа (Нидерланды) имитировали биологический синтез простагландинов: к раствору арахидоновой кислоты добавляли взвесь измельченных везикулярных желез барана. В 1964 г. простагландин E_2 удалось получить и в той, и в другой лаборатории³. Стало ясно, что эти соединения образуются в организме за счет ферментативного катализа, и с этой поры начались исследования ферментов, а затем механизма их действия.

Теперь уже известно, что многие простагландины образуются из арахидоновой кислоты с помощью двух типов последовательно включающихся ферментов (см. схему регуляции). Первый фермент работает по универсальному механизму, и независимо от того, в каком органе или ткани идет синтез, заканчивается он образованием простагландина H_2 (отсюда и название фермента — простагландин H -синтетаза). Второй фермент (вернее, их группа, объединяемая общим названием конвертазы) строго специфичен: в каждом типе тканей простагландин H_2 превращается в свойственный только этому типу тканей простагландин. Например, в тканях мозга образуется простагландин D_2 , в тканях репродуктивной системы — простагландины E_2 и F_2 , в клетках эндотелия — простагландин I_2 , в тромбоцитах — тромбоксан A_2 .

³ Dorp D. A. van et al., — *Biochim. Biophys. Acta*, 1964, v. 90, p. 204; Bergström S., Danielsson B. — *Ibid.*, p. 207.

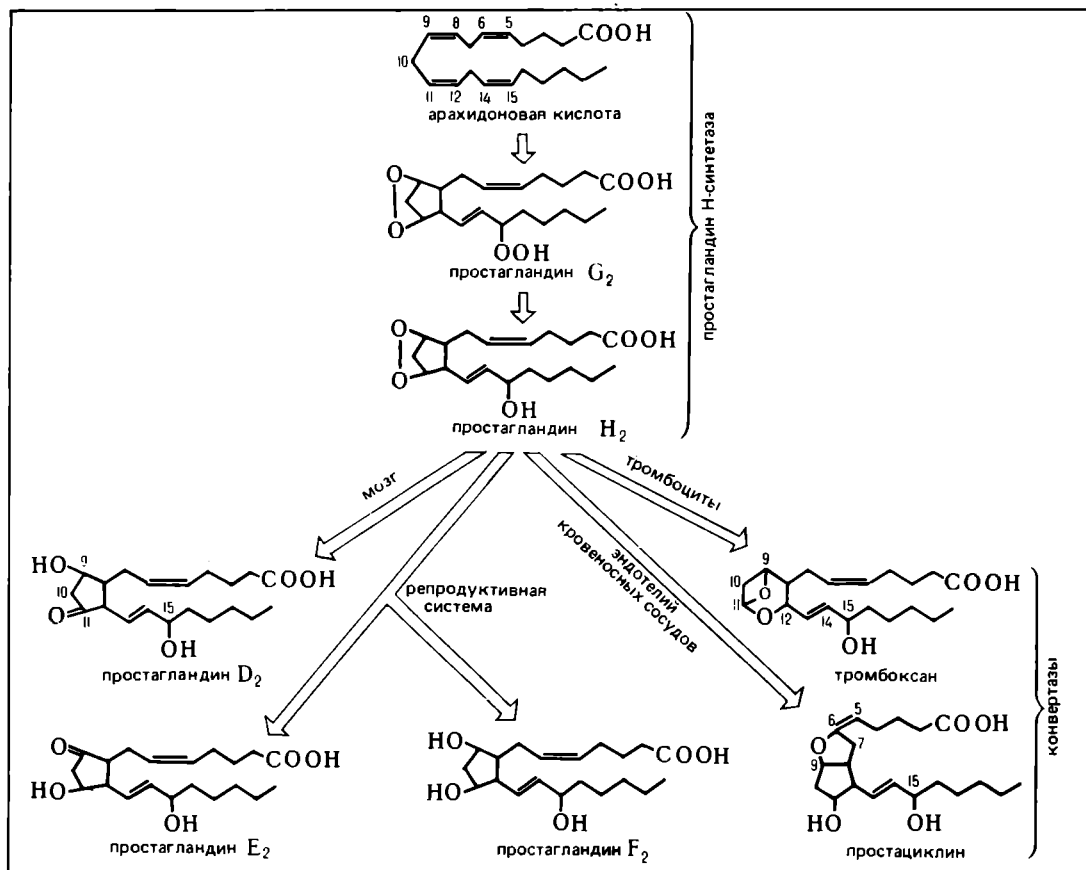
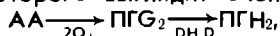


Схема двухступенчатого превращения арахидоновой кислоты в простагландины.

Механизм действия любого фермента можно изучать, имея фермент в чистом виде. Чтобы понять сколь трудной бывает эта начальная стадия, достаточен пример с простагландин H -синтетазой: на разработку удовлетворительных способов ее очистки потребовалось около 20 лет. Одним из методов, разработанных в нашей лаборатории, мы и пользовались при изучении кинетики действия этого фермента.

Синтез простагландина H_2 — это, по сути, окисление арахидоновой кислоты, запись которого выглядит очень просто:



где AA — арахидоновая кислота, DH — донор электронов, D — окисленный донор электронов. На самом же деле это сложный ферментативный процесс, в котором

участвуют четыре молекулы трех субстратов: молекула самой арахидоновой кислоты, две молекулы кислорода и молекула восстановителя, т. е. донора электронов.

Чтобы понять, один ли фермент работает в любых тканях и организмах, или несколько ферментов, отличающихся друг от друга, мы сравнивали кинетику действия простагландин H -синтетазы, выделенной из разных источников, в том числе из тромбоцитов человека и везикулярных желез барана. Отметим сразу, что кинетические характеристики обоих ферментов оказались очень сходными. Однако считать, что простагландин H -синтетаза из различных источников одинакова, по-видимому, преждевременно. Правильнее предположить, что это — группа ферментов с характерными общими свойствами.

Какие же изменения в строении исходной ненасыщенной жирной кислоты производит фермент? Оказалось, что простагландин H -синтетаза осуществляет двойное окисление, перераспределение двой-

ных связей, циклизацию (образование замкнутой структуры) углеводородного скелета и, наконец, восстановление гидроперекисной группы ($-\text{OON}$) в гидроксигруппу ($-\text{OH}$).

Естественно было предположить, что столь сложные превращения должны быть обусловлены не менее сложными механизмами действия фермента. В этом мы убедились, исследуя *in vitro* стационарную кинетику действия простагландин H -синтетазы и зависимость скорости реакции от каждого из субстратов⁴. Выяснилось, что механизм ферментативной реакции включает по крайней мере четыре стадии, на которых его активный центр взаимодействует с субстратами, и две стадии, приводящие к образованию продуктов реакции.

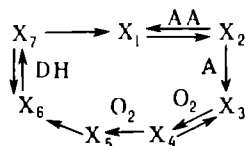
До того как нам удалось установить, что простагландин H -синтетаза взаимодействует с четырьмя субстратами (две молекулы кислорода правильнее считать самостоятельными субстратами, поскольку они включаются в молекулу арахидоновой кислоты на разных стадиях реакции), была описана кинетика только двух субстратных ферментативных реакций. Чтобы проанализировать кинетику действия простагландин H -синтетазы, нам пришлось разработать теорию гораздо более сложных многосубстратных реакций.

К тому времени, как мы занялись кинетическими исследованиями простагландин H -синтетазной реакции, были уже известны ее промежуточные продукты. Сопоставив эти сведения с нашими кинетическими данными, мы пришли к выводу, что молекулярный механизм образования простагладина из арахидоновой кислоты можно представить так, как он показан на рисунке (см. с. 24).

На первой стадии за счет гидрофобных и электростатических взаимодействий активного центра фермента с арахидоновой кислотой образуется комплекс, который принято называть фермент-субстратным. Окисление арахидоновой кислоты начинается с переноса атома водорода от углерода в 13-м положении ее молекулы на акцептор, роль которого выполняет геминная группа с трехвалентным железом в ее центре. Этот процесс сопровождается перераспределением электронной

плотности, за счет которого на двух следующих стадиях присоединяются две молекулы кислорода: одна к атому углерода в 11-м положении, другая — в 15-м. На следующих четырех стадиях происходят внутримолекулярные перегруппировки: образуется гидроперекисная группа у C-9 , $\text{C} - \text{C}$ -связь между восьмым и двенадцатым атомами углерода и $\text{O} - \text{O}$ -мостик между девятым и одиннадцатым.

Конечный продукт перечисленных превращений — это комплекс промежуточного простагладина G_2 с ферментом. Дальнейшая судьба комплекса зависит от того, есть ли донор электронов (DH). При его наличии гидроперекисная группа быстро восстанавливается, т. е. образуется конечный продукт окисления арахидоновой кислоты — простагландин H_2 . Таким образом, его ферментативный синтез из арахидоновой кислоты проходит через образование семи промежуточных соединений⁵:



(символом X с индексом от 1 до 7 обозначены промежуточные соединения, A — акцептор водорода).

ФЕРМЕНТ-САМОУБИЙЦА

Изучая кинетику действия простагландин H -синтетазы, мы обнаружили, что она работает всего лишь 2—4 мин, а затем полностью теряет активность. Мы отнесли этот факт к разряду экспериментальных промахов, так как трудно было поверить, что инактивация — это характерное свойство простагландин H -синтетазы, настолько это было необычно. Предположить, что фермент инактивируется за счет тепловой денатурации, не было оснований — за время его работы температура среды не менялась. Правда, оставались другие параметры: pH и ионная сила раствора, природа матрицы, на которую был иммобилизован фермент. Однако никакие разумные вариации этих параметров не продле-

⁴ Мевх А. Т., Вржещ П. В., Басевич В. В., Варфоломеев С. Д. Полиферментная система синтеза простагландинов. — В кн.: Химическая и биологическая кинетика. М., 1983, с. 224.

⁵ Варфоломеев С. Д., Мевх А. Т. Простагландины — молекулярные биорегуляторы, с. 85.

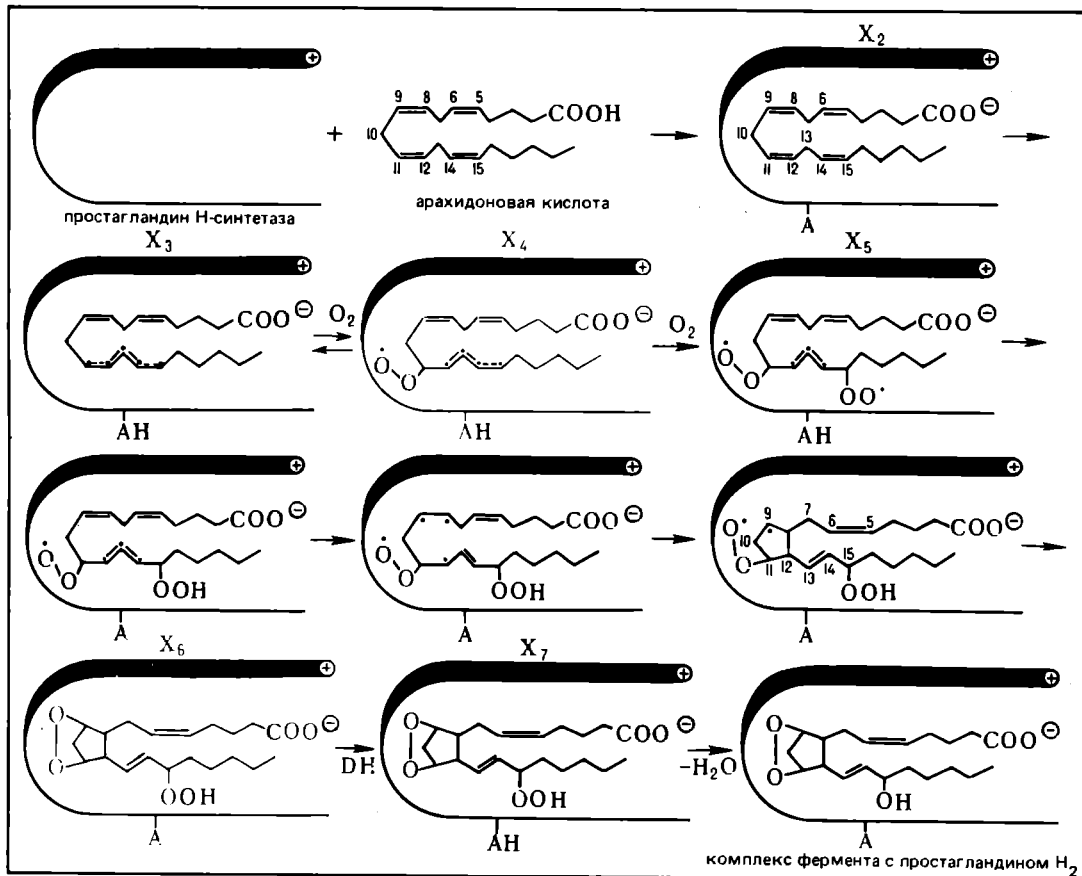


Схема первой ступени превращения арахидоновой кислоты в неустойчивый простагландин H_2 . Цветом обозначены промежуточные соединения, которые ингибируют фермент.

вали его жизнь. В поисках причины инактивации мы предположили, что этот процесс может быть вызван побочной реакцией, в которой фермент на одной из стадий превращения арахидоновой кислоты окисляется свободными радикалами. Добавляли в реакционную смесь самые разные «тушители» радикалов, самые разные восстановители — результат тот же: фермент переставал работать. Мало того, находился ли он в гомогенном состоянии в растворе, в мицелле детергента, в липидном окружении микросомы или в клетке тромбоцита, константа скорости инактивации была одинаковой. Вывод из всего этого был один — инактивация в процессе реакции — специфическое свойство фермента, а простагландин Н-синтетаза — фермент-самоубийца.

Теперь нужно было определить стадию (или стадии), на которой фермент терял активность, и промежуточное соединение (или соединения), необратимо блокирующее активный центр фермента. Однако поиски виновника инактивации среди по крайней мере семи промежуточных соединений, вряд ли увенчались бы успехом без теоретической разработки. Касалась она кинетики многостадийной ферментативной реакции, в которой промежуточные соединения способны претерпевать химические превращения, приводящие к потере ферментом активности. Одновременно мы детально изучили зависимость инактивации от концентрации всех субстратов — арахидоновой кислоты, кислорода и донора электронов. Почему субстратов, если нужно было искать промежуточное соединение? Связь между ними очевидна: уровень концентрации промежуточных соединений, образующихся на разных стадиях превращения арахидоновой кислоты в простагландин, можно ре-

гулировать, изменяя концентрацию субстрата на определенной стадии реакции.

Выяснилось, что константа скорости инактивации зависит от концентрации каждого из субстратов, причем зависимость эта различна. Так, чем больше арахидоновой кислоты, тем скорее инактивируется фермент, но если увеличить концентрацию донора электронов, этот процесс замедляется.

Сопоставив теоретически рассчитанные данные с результатами экспериментов, мы обнаружили, что в инаktivации фермента принимают участие промежуточные соединения⁶, обозначенные в схеме реакции как X_4 и X_6 (неустойчивый простагландин G_2). Реакционная способность обоих соединений очень высока, так как оба являются радикалами и потому могут связываться с белковой частью фермента и выключать его из каталитического цикла. Однако в действии этих соединений есть существенная разница: инаktivацию фермента на стадии образования соединения X_6 можно предотвратить, если увеличить концентрацию донора электронов, но инаktivация через соединение X_4 полностью необратима. За счет действия именно этого промежуточного соединения фермент делает несколько тысяч каталитических циклов, в которых синтезируется 10^3 — 10^4 молекул простагландина H_2 , а затем выходит из каталитического процесса.

ЗАЧЕМ НУЖНА ГИБЕЛЬ ФЕРМЕНТА?

Инаktivация простагландин H -синтазы во время катализа — пока единственный пример подобного рода. Но тем не менее нельзя не задать себе вопроса: в чем же биологический смысл столь паразитического явления? Мы знаем, что простагландины — особые вещества, их регуляторная роль проявляется во множестве биохимических реакций, а стало быть, и физиологических процессов в живом организме. Зачем же организму этот, казалось бы, неблагоприятный процесс? Как проявляется инаktivация в образовании и расходовании простагландинов? Что может служить сигналом для инаktivации: изменение концентрации субстрата, т. е. арахидоновой кислоты, или продукта каталитической реакции — простагландина H_2 ?

Чтобы ответить на эти вопросы, мы

снова обратились к кинетике и сопоставлению экспериментальных результатов с кинетическими выкладками⁷. Не обсуждая полученных данных, коснемся лишь выводов.

Известно, что скорость любого ферментативного процесса зависит от концентрации субстрата и продукта реакции. Естественно, что количество образующегося в результате реакции вещества и количество превращающегося в него субстрата тоже связаны определенной зависимостью, которая описывается с помощью уравнений биокинетики. Однако, проведя анализ кинетической реакции, в которой, подобно реакции образования простагландина H_2 , фермент инаktivруется в процессе катализа, мы пришли к удивительному выводу: стационарный уровень концентрации продукта не зависит от концентрации субстрата. Если субстрат вводить в реакционную систему быстро, небольшими порциями, количество продукта возрастает, но затем уменьшается и возвращается на исходный стационарный уровень, т. е. поддерживается постоянная концентрация продукта реакции. Такая система оказывается абсолютно консервативной в отношении продукта реакции, и в этом ее уникальность. Фермент, который инаktivруется в процессе катализа, играет роль своеобразного клапана, а его действие регулируется концентрацией субстрата. Как только она увеличивается, ускоряется инаktivация фермента и количество продукта остается неизменным.

В биохимической кинетике известно несколько консервативных механизмов, за счет которых устраняются неблагоприятные изменения в концентрации субстрата и поддерживается постоянный уровень концентрации продукта реакции. Это механизмы с обратной связью — конкурентное и неконкурентное ингибирование фермента продуктом реакции. Эти механизмы существенно отличаются степенью жесткости регулирования. Наименее эффективен механизм конкурентного ингибирования, больший эффект обеспечивается механизмом неконкурентного ингибирования, и только механизм с инаktivацией ферментов в процессе реакции способен устойчиво держать концентрацию продукта реакции на постоянном уровне вне зависимости от изменений в концентрации субстрата.

⁶ Варфоломеев С. Д. — Биохимия, 1982, т. 47, с. 343.

⁷ Варфоломеев С. Д. — Биохимия, 1984, т. 49, с. 723.

Уникальная особенность механизма регуляции процесса с инактивацией фермента пока была проанализирована на примере идеальной системы катализа и простой системы, в которой моделировался синтез простагландина H_2 . При этом не учитывалось, что в организме синтез простаноидов осуществляется не одним ферментом, а целой полиферментной системой. Мы поняли, что инактивацией фермента в процессе реакции поддерживается постоянная концентрация простагландина H_2 , но ведь он в организме — не конечный продукт окисления арахидоновой кислоты. Далее он превращается (в зависимости от места синтеза) в простагландины E_2 , F_2 , D_2 , I и тромбоксан. Что же дает нам знание кинетики первой ступени превращения арахидоновой кислоты?

Понятно, что открытый феномен инактивации — важный регуляторный механизм в общем синтезе простаноидов, именно от него зависит дальнейший ход образования других простагландинов. Естественен вывод из наших результатов: воздействуя на систему синтеза простагландинов, можно, по-видимому, регулировать уровень их концентрации в тканях или органах, где тот или иной физиологический процесс нарушен дисбалансом простаноидов.

Вспомним, что простаноиды — внутриклеточные, внутриорганные регуляторы. Синтезируются они в клетках в ответ на различные воздействия, и потому их образование и действие связано со многими другими физиологическими активными соединениями. Общая биохимическая система, в которой участвуют простаноиды, очень сложна, и регуляция всей системы может осуществляться на самых разных уровнях.

Начинается весь цикл биосинтеза (его схема изображена ниже) с высвобождения арахидоновой кислоты (A_1, A_2) из фосфолипидов ($\Phi Л$), только в их составе находится арахидоновая кислота, а не в свободном состоянии) с помощью ферментов фосфолипаз (Φ_1 и Φ_3). Затем арахидоновая кислота окисляется в процессе двух последовательных ферментативных реакций (ферменты Φ_2 и Φ_4) до тромбоксана ($T_{кс}$, в тромбоцитах) и простациклина ($ПГ I$) в эндотелиальных клетках кровеносных сосудов, где и проявляется физиологическое действие обоих простаноидов. Но в организме в сферу влияния простациклина и тромбоксана вовлечен также фермент аденилатциклаза (Φ_5), которую они могут ингибировать или активировать.

В результате такого действия подавляется синтез из АТФ (аденозинтрифосфата) циклического аденозинмонофосфата ($ц АМФ$) — универсального внутриклеточного регулятора, а из-за его недостаточной концентрации снижается работа исходных фосфолипаз. В конечном итоге арахидоновая кислота высвобождается из фосфолипидов в меньшем количестве. Так, через аденилатциклазу и фосфолипазы регулируется количество арахидоновой кислоты в клетке.

Кинетическая схема этих взаимодействий выглядит следующим образом:

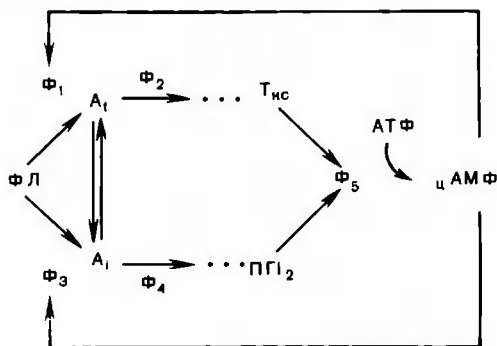


Схема биохимической системы с участием простаноидов. Черными стрелками показано стимулирующее действие, цветными — ингибирующее.

Совершенно очевидно, что охарактеризовать работу, т. е. учесть все кинетические параметры и их взаимное влияние в такой сложной системе, пожалуй, невозможно без помощи ЭВМ. К счастью, сейчас на ЭВМ можно построить и проанализировать любой биохимический процесс любой степени сложности. Этим мы и воспользовались.

Мы моделировали работу системы, заканчивающейся образованием тромбоксана и простациклина — простаноидов-антагонистов, уравновешивающих действие друг друга в кровеносной системе⁸.

Из анализа выяснилось, что вся система в высшей степени консервативна в отношении концентрации простаноидов. По уровню концентрации тромбоксана система может существовать в двух стационарных

⁸ Varfolomeev S. D., Gachok V. P., Mevkh A. T. The preprint of the Institute for Theoretical Physics, № ITP-84-2E, 1984.

состояниях, но для того чтобы произошел ее переход из одного состояния в другое, концентрация арахидоновой кислоты должна измениться в миллион раз (количество тромбоксана при этом изменяется в два раза). Физиологическое действие такого перехода, вероятно, состоит в трансформации тромбоцитов в активированное состояние.

Таким образом, и в простой экспериментальной системе биосинтеза простагландинов, и в полиферментной (с учетом регулирующего действия фосфолипаз и аденилатциклазы) концентрация продукта реакции — простагландина — поддерживается на постоянном уровне. Абсолютная точность обеспечивается инактивацией фермента простагландин H -синтетазы. Это уникальный, пока единственный механизм регулирования, своей «жесткостью» отличающийся от двух ранее известных механизмов. Но есть основания предполагать, что в регуляции других биохимических процессов такой механизм используется весьма широко. Сейчас есть только косвенные указания на распространенность столь жесткого механизма: некоторые ферменты, например ферменты печени, сохраняют активность *in vivo* всего лишь около 10 мин (вспомним, что именно кратковременность действия простагландин H -синтетазы привела к открытию феномена ее инактивации).

Чтобы простагландины — эти чрезвычайно активные физиологически соединения — не наделали бед в организме, уровень их концентрации должен быть стабильным. Известно, например, что изменение концентрации простагландина G_2 в плазме крови всего на 25 % характеризует переход организма в патологическое предынфарктное состояние. Но не только в развитии разных патологий сказывается роль простаноидов. В регуляции обмена веществ принципиально важны «внутренние эталоны» — вещества, постоянный уровень концентрации которых обеспечил бы «отсчет» концентраций важнейших метаболитов. На роль такого рода эталонов простаноиды подходят и потому, что уровень их концентрации постоянен, и потому, что они контролируют активность важнейших регуляторных систем, в первую очередь аденилатциклязную систему. Это может служить основой для динамического постоянства состава и свойств крови и всего организма.

Естественно, что экспериментальные и теоретические исследования простаноидов, механизма регуляции их фермента-

тивного синтеза находят непосредственную связь с медициной, в силу их важной физиологической значимости.

ПРОСТАГЛАНДИНЫ В ФАРМАКОЛОГИИ

Применение в медицине нашли первые же открытые простагландины E_2 и $F_{2\alpha}$ даже при их непомерной стоимости. Их стали применять для стимуляции родовой деятельности и прерывания беременности. Всемирная организация здравоохранения создала даже специальную Программу по применению простагландинов для медицинского прерывания беременности, планируя таким образом регулировать рождаемость. Дороговизна существовавших тогда коммерческих простагландинов (их получали биологическим путем) побудила к поискам их новых природных источников. Такой источник был найден, им оказался горгониевый коралл *Plexaura homomalla*. Совсем недавно значительные количества простагландинов обнаружены в камбии и почках некоторых древесных пород.

Простагландины получали и получают биологическим и химическим способами, однако их по-прежнему не хватает: вместе с расширением области их применения растет и потребность в них. Сейчас простагландины изучаются как новый класс лекарственных препаратов, кроме гинекологии их уже применяют для лечения сердечно-сосудистых заболеваний, некоторых форм бронхиальной астмы. Применяют их в животноводстве для ускорения селекции сельскохозяйственных животных, для синхронизации половых циклов, для регулирования времени появления приплода. Однако применение чистых простагландинов не только дорого — не так просто добиться нужного эффекта их действия. Они слишком нестабильны, поэтому вместо простагландинов природной структуры часто получают их синтетические аналоги. Область синтетической химии простагландинов быстро развивается, и можно надеяться, что в ближайшее время будут созданы новые лекарственные препараты. Однако трудности на этом пути весьма велики.

Есть ли другая возможность регулировать концентрацию простагландинов в ткани или органе живого организма, если ли баланс нарушен патологическим процессом, или их собственный дисбаланс стал причиной патологии? В последнее время такая возможность стала вполне реальной (заметим, что ее корни уходят в историю,

когда простагландины еще не были известны). Открытие феномена инактивации простагландин-Н-синтетазы в процессе синтеза простаноидов приводит к мысли, что, регулируя ее активность, можно добиться излечения, т. е. восстановить баланс простаноидов-антагонистов, не вводя их в организм в чистом виде. Если оглянуться назад, то окажется, что по пути инактивации ферментов простагландинового синтеза медицина идет со времени появления первых противовоспалительных препаратов — так называемых салицилатов. Это производные салициловой кислоты, к числу которых относится и всем известный аспирин, или ацетилсалициловая кислота. Синтез же салицилатов был побужден наблюдениями за действием настоев из листьев ивы плакучей. В народной медицине такие настои применяли еще 200 лет назад при лихорадочном состоянии и для лечения ревматизма. Впоследствии оказалось, что действующее начало в листьях ивы — какая-то кислота, которую по латинскому названию ивы (*Salix*) называли салициловой.

Тот факт, что аспирин ингибирует синтез простагландинов, был обнаружен английским фармакологом Дж. Вейном в 1971 г. После этого исследования, в которых изучалось влияние различных противовоспалительных и некоторых других лекарственных препаратов на синтез простагландинов, посыпались, как из рога изобилия. В результате выяснилось, что фактически все применяемые в настоящее время нестероидные противовоспалительные средства, такие, например, как вольтарен, индометацин, напроксен, бутадиион, аспирин, анальгин, ингибируют простагландин-Н-синтетазу. На ее ингибирование человечество употребляет только одного аспирина более 100 тыс. т в год.

Феномен ингибирования синтеза простаноидов противовоспалительными средствами требовал детального исследования. Мы опять занялись кинетикой. На первом этапе проводились эксперименты *in vitro*, в которых изучали кинетику действия противовоспалительных препаратов на простагландин-Н-синтетазу, поскольку мы уже знали, что именно она ограничивает дальнейшие превращения арахидоновой кислоты в простагландины. На втором этапе мы приблизили наши эксперименты к условиям *in vivo*, т. е. моделировали процессы и изучали их в сложной полиферментной реакции с ингибитором. К этому времени уже было известно, что аспирин необратимо блокирует простагландин-Н-синтетазу: его ацетильная группа

ковалентно связывается с ферментом и тот выключается из реакции катализа.

Однако, по имеющимся к концу 70-х годов сведениям, не все противовоспалительные препараты ингибировали фермент необратимо. Поэтому мы исследовали кинетические закономерности ингибирования простагландин-Н-синтетазы разными препаратами, чтобы выяснить сам механизм и сравнить эффективность действия этих препаратов⁹. В экспериментах мы попытались выяснить, какие элементы структуры лекарственных веществ обеспечивают их ингибирующее действие.

В опытах подтвердилось, что аспирин медленно, но необратимо выключает фермент из каталитической реакции, индометацин и вольтарен действуют на него тоже медленно, но их блок можно снять; а брufen, анальгин, напроксен и бутадиион быстро и обратимо связываются с ферментом, замещая собой арахидоновую кислоту при образовании фермент-субстратного комплекса. Для ингибирующего действия на фермент лекарственные препараты должны иметь свободную карбоксильную группу ($-\text{COOH}$), а их небольшое ароматическое ядро должно обладать гидрофобными свойствами.

Таким образом, из анализа кинетических данных мы выяснили, что существует по крайней мере 3 класса лекарственных ингибиторов простагландин-Н-синтетазы, которые различаются скоростью взаимодействия с его активным центром и способностью обратимо или необратимо связываться. Интересно, что быстрые обратимые ингибиторы замедляют реакцию аспирина с ферментом, и это свойство можно использовать при лечении аспирином.

Хорошо известно, что возникновение язвенной болезни связано с нарушением синтеза простагландинов в стенке желудка. Установлена также связь между язвой желудка и высокими дозами аспирина, применяемого как противовоспалительный препарат. В этом главное побочное действие аспирина при его приеме через рот. Но вот что интересно: лечебное действие аспирина оказывает не в желудке, а в других органах и тканях, куда он попадает через кровь. Оказалось, что столь неприятное действие аспирина в желудке можно уст-

⁹ Варфоломеев С. Д., Мевх А. Т., Муратов В. К. и др. Простагландин и тромбосинтетазы — механизмы регуляции лекарственных препаратами. — В сб.: Молекулярные основы действия ферментов. М., 1985, с. 3.

ранить, если его вводить вместе с быстрым и обратимым ингибитором (бруфеном, бутадионом или анальгином). В чем причина этого? Быстрый обратимый ингибитор как бы защищает простагландин H-синтазу от необратимого действия на нее аспирина, поскольку взаимодействует с ферментом намного быстрее аспирина. За это время аспирин переходит из желудка в кровь, а фермент, находящийся в крови, освобождается от обратимого ингибитора и связывается уже с аспирином. Так обратимый ингибитор предотвращает длительную остановку синтеза простаноидов в стенке желудка, вызывающую язву.

Другое побочное действие аспирина — его способность «разжижать» кровь: он полностью блокирует образование тромбоксана в тромбоцитах и те перестают образовывать тромб даже через двое суток после приема аспирина. А если в это время случится хотя бы небольшое кровотечение? Без тромбоцитов «заклеить» поврежденное место в кровеносном сосуде нечем. И тут можно полагаться на совместное действие противовоспалительных препаратов, но уже аспирина с медленным ингибитором — индометацином. Небольшие дозы того и другого (приблизительно в 10 раз меньше тех, которые необходимы для лечения индивидуальным препаратом) приводят к лечебному эффекту в больном организме, при этом способность тромбоцитов к образованию тромбов восстанавливается через 48 ч. Устранение побочных явлений аспирина — это один из аспектов выхода кинетических исследований в медицинскую практику.

И еще одно очень важное последствие применения комплексных препаратов, ингибирующих простагландин H-синтазу, но уже в кровеносной системе¹⁰. При совместном действии двух ингибиторов удается добиться такого состояния, при котором хотя подавляется образование и тромбоксана (мощного стимулятора образования тромбов), и простагличина, предотвращающего их агрегацию, все же концентрация простагличина оказывается выше по сравнению с количеством тромбоксана. За счет этого ставшие уже активными тромбоциты теряют способность образовывать тромб во время предынфарктного состояния или уже образовавшийся тромб (состояние после инфаркта)

рассасывается. Нет нужды говорить, насколько это важно при лечении сердечно-сосудистых заболеваний.

Мы рассказали далеко не обо всех наших результатах, но хотим подчеркнуть, что необратимый ингибитор простагландин H-синтазы — аспирин, попавший в кровь, вызывает «кинетическую волну» в изменении многих компонентов организма. И эта волна прокатывается по многим его системам.

Кинетический анализ показывает, что на пути ингибирования полиферментных систем биосинтеза простагландинов с учетом их регуляции различными противовоспалительными препаратами могут быть найдены весьма эффективные комплексные средства, способные изменять в организме соотношение концентраций различных простаноидов. На наш взгляд, это одно из наиболее обещающих направлений работы по исследованию механизмов регуляции ферментных систем синтеза простаноидов. Ингибирование этих ферментов — первый шаг к управлению биосинтезом внутриклеточных регуляторов. В настоящее время совершенно очевидно, что на пути поисков активаторов и ингибиторов ферментов простагландинового синтеза будут найдены мощные лекарственные средства, способные бороться с самыми различными патологическими процессами.

Итак, кинетическое описание процесса, в котором идет образование из арахидоновой кислоты простагландинов, механизма ингибирования простагландин H-синтазы, осуществляющей катализ этого процесса, и, наконец, описание кинетики ингибирования этого фермента противовоспалительными препаратами уже сейчас дают многое для медицинской практики. Но полностью роль простагландинов еще не раскрыта.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

ПРОСТАГЛАНДИНЫ. Под ред. И. С. Ажгихина. М.: Медицина, 1978.

Бороян Р. Г. ПРОСТАГЛАНДИНЫ: ВЗГЛЯД НА БУДУЩЕЕ. М.: Знание, 1983.

БУДУЩЕЕ НАУКИ. Международный ежегодник. Выпуск восемнадцатый. М.: Знание, 1985.

¹⁰ Варфоломеев С. Д., Лакин К. М., Мевх А. Т. и др. — Доклады АН СССР, 1985, т. 282, № 1, с. 194.

Новые распады «очарованных» и «прелестных» частиц

М. В. Данилов,
кандидат физико-математиче-
ских наук

Институт теоретической и экспери-
ментальной физики
Москва

Открытие в 1974 г. J/ψ -частицы, состоящей из «очарованного» кварка c и соответствующего антикварка $\bar{c}$, стало событием в физике элементарных частиц. Это дало толчок новому всплеску идей в этой области науки, сопровождавшемуся интенсивным развитием теории и небывалым доселе накоплением экспериментальных данных. Убедительные подтверждения получила кварковая теория адронов, согласно которой все сильновзаимодействующие частицы, ранее считавшиеся элементарными, на самом деле состоят из кварков. Связь между кварками осуществляется путем обмена глюонами — переносчиками сильного взаимодействия, причем сила связи растет с увеличением расстояния между кварками подобно росту натяжения струны при ее растяжении. Такое непривычное поведение приводит к невозможности вылета кварка за пределы адрона, что, по-видимому, и объясняет отрицательные результаты экспериментов по поиску свободных кварков.

Вслед за «очарованными» кварками были открыты «прелестные» кварки b , а недавно поступило сообщение о наблюдении шестого вида таких частиц — кварков t . Правда, следует отметить, что экспериментальные свидетельства обнаружения t -кварка пока еще очень слабы, но мало кто сомневается в его существовании. Неизвестно,

сколько различных видов кварков имеется в природе — сейчас это один из самых острых вопросов физики элементарных частиц.

Массы «очарованного» и других новых кварков значительно больше масс кварков u , d и s , давно известных физикам. Это обстоятельство имеет важное значение. Дело в том, что уравнения теории кварковых взаимодействий очень сложны, и в большинстве случаев довольно трудно найти даже приближенные их решения, не говоря уже о точных. Однако теоретический анализ сильно упрощается, если массы кварков велики, и тогда удается рассчитать многие важные характеристики частиц, в состав которых они входят. В результате частицы из тяжелых кварков могут служить как бы «пробным камнем» для современной теории сильных взаимодействий.

Столь важная роль новых частиц привела к тому, что на них «набросились» сотни физиков во всем мире. С целью изучения их свойств создан целый ряд очень сложных установок, и каждый год приносит новые, часто совершенно неожиданные результаты. Это, в свою очередь, порождает поток новых теоретических идей и экспериментальных исследований.

Существенную информацию о свойствах частиц и взаимодействиях между ними дают исследования процессов распада. Почти десять лет понадобилось для того, чтобы начала вырисовываться самосогласованная картина распадов частиц, состоящих из тяжелых кварков. В создание этой картины внесла свой вклад и группа ARGUS, о последних экспериментальных результатах которой пойдет речь в этой заметке.

В конце 1982 г. на электрон-позитронном накопительном кольце DORIS, входящем в состав ускорительного центра

DESY (Гамбург, ФРГ), был введен в действие новый универсальный детектор ARGUS. В его создании и последующей эксплуатации принимало участие 18 сотрудников Института теоретической и экспериментальной физики (Москва) и около 50 исследователей из ФРГ, США, Швеции, Канады и Югославии. Название детектора было выбрано не случайно. У него, как и у мифологического стоокого Аргуса, много (точнее, 1748) «глаз» — сцинтилляционных счетчиков, регистрирующих фотоны. Кроме того, ARGUS — это аббревиатура начального состава участников эксперимента: A Russian German United States and Swedish Collaboration. После того как в эксперимент включились канадские физики, было предложено считать, что буква A представляет сразу всех участников с американского континента. Название детектора стало произноситься на новый лад: American Russian German Und Swedish Collaboration. Пока неясно, как отразить в названии присоединившихся еще позже специалистов из Югославии.

Любопытно, что аналогия с мифологическим Аргусом чуть было не оказалась полнее, чем того хотелось бы членам нашей группы. Летом 1984 г. группа Crystal Ball (CB), работающая на втором пересечении встречных пучков DORIS, объявила о наблюдении совершенно необычной частицы, которую назвали ζ . Обнаружение частицы ζ с массой 8,3 ГэВ стало, пожалуй, наибольшей сенсацией года в физике элементарных частиц. А в эксперименте группы DESY никаких следов этой частицы видно не было. И тут начались шутки, порою довольно едкие, на тему, что ARGUS проглядел ζ так же, как мифологический Аргус — многотрадную царевну Ио. Однако дальнейшие исследования на накопительных кольцах DORIS и CESR (США) показали,

что результат группы CB был неверен. В частности, группа ARGUS установила верхний предел на вероятность рождения ζ , который более чем в три раза меньше значения, приводившегося группой CB. Группа CUSB в США уменьшила этот предел еще в полтора раза, а в последующих экспериментах и сама группа CB уже не «увидела» этой частицы. Успокоившиеся теоретики стали с восторгом говорить, что частица ζ «рассосалась». Поскольку проверкой результата группы CB в течение нескольких месяцев занималось в общей сложности около 200 физиков, такую терминологию вряд ли можно признать удачной.

Мне кажется уместным разъяснить вопрос о численности экспериментальных групп в нашей области физики. В самом деле, часто спрашивают, почему так много сотрудников участвует в одном эксперименте и каким образом удается организовать совместный труд многих десятков, а порой и сотен ученых. Ответ на второй вопрос требует специальной статьи с социологическим уклоном. На первый же вопрос ответить просто. Современные установки в физике элементарных частиц создаются на пределе технологических возможностей и настолько сложны, что даже их эксплуатация, не говоря уже о создании, требует усилий большого числа специалистов. Например, только часть установки ARGUS — дрейфовая камера — состоит из 6 тыс. детекторов, измеряющих количество электронов, образующихся при прохождении заряженных частиц через камеру, и время их дрейфа к сигнальным проводочкам. При этом число электронов измеряется с точностью до нескольких десятков, а время дрейфа — с точностью в одну миллиардную долю секунды. Экспериментальная установка почти никогда не работает целиком — хотя бы несколько детекторов из десятков тысяч всегда оказываются неисправными. Поэтому обслуживание установки чем-то напоминает лечение хронического больного: устраняется одна неисправность — ей на смену приходит другая. Чтобы вовремя заметить неполадку, установку приходится держать под

постоянным наблюдением нескольких ЭВМ, которые измеряют множество параметров, характеризующих ее состояние: привычные в медицине температуру, давление, «пульс» — число

срабатываний установки в единицу времени. Постоянно делается анализ химического состава веществ, циркулирующих в системе, и многое другое. Разница с обычным лечением в том, что температура, например, измеряется не в одной точке, а сразу в сотне, а при изменении хотя бы на 1 % давления или на 0,001 % химического состава газа сразу же вызывается «скорая помощь» — специалист по данной системе. Поэтому и требуется такое большое число людей, чтобы поддерживать установку «практически здоровой» в любое время дня и ночи. К счастью, это обычно удается.

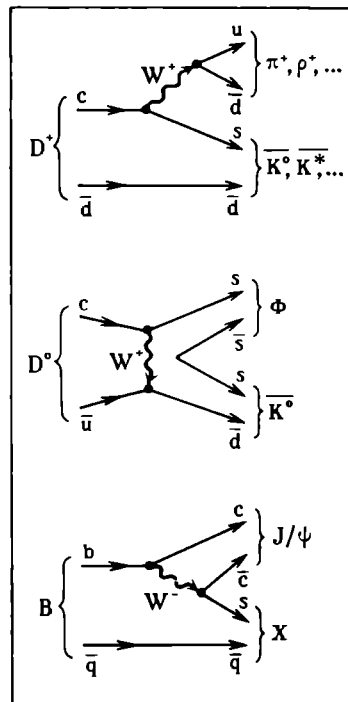
С надеждой, что мне удалось создать у читателей представление о методах и условиях нашей работы, я перейду теперь к рассказу о полученных в последнее время результатах, т. е. к тому главному, ради чего строятся такие сложные установки.

Недавно группа ARGUS обнаружила новые распады мезонов, содержащих тяжелые кварки¹:

$$D^0 \rightarrow \bar{K}^0 \psi \text{ и } B \rightarrow J/\psi + X.$$

Был открыт также новый «очарованный» мезон D^* (2420)².

Напомню, что мезоны — это сильновзаимодействующие частицы, состоящие из кварка и антикварка. Нейтральный мезон D^0 построен из «очарованного» кварка c и легкого антикварка $\bar{u}$. Аналогично, положительно заряженный мезон D^+ состоит из кварка c и антикварка $\bar{d}$. Как выглядит стандартный распад заряженного D^+ -мезона? «Очарованный» кварк c испускает W^+ -бозон, частицу, переносящую слабые взаимодействия. При этом его заряд уменьшается на единицу, т. е. становится равным $-1/3$: «очарованный» кварк c превращается в странный кварк s . Странный кварк s вместе



Фейнмановские диаграммы спектральных распадов заряженных D^+ -мезонов (вверху), аннигиляционного распада D^0 -мезона (в середине) и распада «прелестного» B -мезона (внизу). Символом q в последнем случае обозначен один из легких антикварков $\bar{u}$ или $\bar{d}$.

	$S=0$	$S=1$
D^0	$c \uparrow \bar{u} \downarrow$	$D^{*0} \quad c \uparrow \bar{u} \uparrow$
D^+	$c \uparrow \bar{d} \downarrow$	$D^{*+} \quad c \uparrow \bar{d} \uparrow$
F^+	$c \uparrow \bar{s} \downarrow$	$F^{*+} \quad c \uparrow \bar{s} \uparrow$

Ковалев

Кварковый состав «очарованных» мезонов. Стрелками указаны направления спинов кварков: если они антипараллельны — спин частицы $S=0$, если параллельны — $S=1$.

¹ Albrecht H., Binder U. et al. — Phys. Lett., 1985, v. 158B, p. 525; Ibid., v. 162B, p. 395.

² Albrecht H., Binder U. et al. Observation of a New Charmed Meson. — Preprint DESY 85-119, 1985.

с оставшимся от D^+ -мезона антикварком $\bar{d}$, игравшим роль «наблюдателя» (спектатора), образуют нейтральный странный мезон $\bar{K}^0$ или ему подобную частицу. Испущенный же W^+ -бозон распадается на кварки u и $\bar{d}$, которые могут объединяться, например, в заряженный пион π^+ .

Однако распад $D^0 \rightarrow \bar{K}^0 \phi$ не может происходить подобным образом, поскольку в конечном состоянии отсутствует антикварк $\bar{u}$, входящий в состав D^0 -мезона. Здесь действует другой, аннигиляционный механизм. Как и в описанной ранее реакции, «очарованный» кварк с испускает W^+ -бозон и превращается в странный кварк s . Но этот W^+ -бозон поглощается в данном случае антикварком $\bar{u}$, который перестает быть пассивным наблюдателем и превращается сам в кварк с зарядом $+1/3$, т. е. в антикварк $\bar{d}$. Таким образом, сначала происходит аннигиляция кварков s и $\bar{u}$ в систему sd . Затем из вакуума «подхватывается» кварк-антикварковая пара $s\bar{s}$, в результате чего на свет появляются частицы $\bar{K}^0$ с составом $s\bar{d}$ и ϕ с составом $s\bar{s}$.

Таких распадов нет у заряженных D^+ -мезонов, точнее, они должны быть сильно подавлены. Аннигиляционные распады D^0 должны приводить к различию времен жизни заряженных и нейтральных D -мезонов, наблюдаемому на опыте. По современным данным, D^+ живет в $2,03 \pm 0,25$ раза дольше, чем D^0 . Существовавшее единственное объяснение этого различия, которое не учитывает возможность аннигиляционных каналов распада, опиралось на принцип Паули, согласно которому две частицы со спином $1/2$ не могут находиться в одинаковых состояниях.

При распадах D^+ могут образоваться, как мы видели, два антикварка $\bar{d}$, а это приведет к уменьшению вероятности распада, т. е. к увеличению времени жизни D^+ . Однако принцип Паули позволял объяснить не более 50—70 % наблюдаемой разницы времен жизни. Ясно, что существование дополнительных аннигиляционных каналов распада D^0 приведет к уменьшению его времени жизни и улучшит согла-

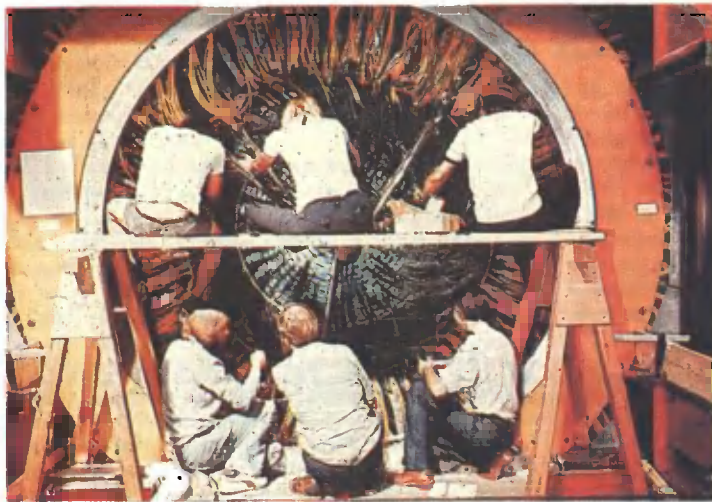
сие с опытом. Однако большинство теоретических оценок дает для аннигиляционных распадов пренебрежимо малую вероятность — порядка нескольких процентов. С другой стороны, вероятность только одного наблюдавшегося на опыте распада $D^0 \rightarrow \bar{K}^0 \phi$ оказалась больше 1 %. А ведь должны существовать и другие виды аннигиляционных распадов. Например, вместо пары $s\bar{s}$ из вакуума даже с большей легкостью могут родиться пары кварков $u\bar{u}$ или $d\bar{d}$. Кроме того, даже в случае «подхвата» пары $s\bar{s}$ частицы $\bar{K}^0$ и ϕ в конечном состоянии возникают далеко не во всех случаях: скажем, пара $s\bar{s}$ может перейти также в η -мезон. Таким образом, открытие распада $D^0 \rightarrow \bar{K}^0 \phi$ демонстрирует, что аннигиляционные каналы все-таки могут внести заметный вклад в различие времен жизни D^0 - и D^+ -мезонов, и их необходимо учитывать в теоретических расчетах.

Перейдем теперь к другому обнаруженному нами распаду, который наблюдался одновременно также и группой CLEO, работающей на электрон-позитронном накопительном кольце CESR в Корнеллском университете в США³. Здесь «прелестный» мезон B , состоящий из кварка b и какого-то легкого антикварка, распадается на J/ψ -частицу и что угодно другое. Схема распада B -мезона, изображенная на фейнмановской диаграмме, похожа на стандартный распад D^+ -мезонов. Найденный нами распад интересен тем, что он описывается так называемой подавленной по цвету диаграммой. Дело в том, что каждый кварк может находиться в одном из трех цветовых состояний. (Напомню, что взаимодействие цветовых зарядов кварков и приводит к их сильному взаимодействию.) Кварки s и $\bar{s}$, сливающиеся в данном распаде в J/ψ -частицу, имеют нескоррелированные цвета. Поэтому лишь одна из трех комбинаций оказывается бесцветной — когда цвет кварка скомпенсирован соответствующим антицветом

антикварка. Только такая комбинация может образовать J/ψ -частицу. В относительной вероятности такого процесса появится множитель $1/9$, равный квадрату фактора подавления $1/3$. Правда, подавление может быть ослаблено присутствием глюонов, но теоретические оценки такого эффекта, к сожалению, весьма неопределенны. Найденные в экспериментах относительные вероятности распада $B \rightarrow J/\psi + X$ согласуются между собой: $1,37^{+0,6}_{-0,5}$ % (ARGUS) и $1,10 \pm 0,31$ % (CLEO). Эти значения несколько превосходят теоретические предсказания, учитывающие цветное подавление. Неожиданным оказался спектр масс системы частиц X , рождающихся вместе с J/ψ . В описанной схеме распада легкие кварки также выступают как пассивные наблюдатели (спектаторы). Поэтому импульс J/ψ и, следовательно, масса системы X однозначно определяется, казалось бы, массами частиц, участвующих в двухчастичном распаде $B \rightarrow J/\psi + s$. В соответствии с такими представлениями предсказывалось, что масса X окажется небольшой — меньше 1 ГэВ. В полученном же на опыте распределении лишь в небольшой части событий X имеет массу меньше 1 ГэВ. Возможно, и здесь для объяснения обнаруженного явления надо привлечь какие-то «неспектаторные» эффекты. Однако пока еще нельзя исключить того, что большая часть J/ψ -частиц рождается не непосредственно в распаде мезона B , а в результате целого каскада распадов, что также должно привести к большим значениям массы системы X .

Уже упоминалось, что «очарованные» мезоны состоят из легкого кварка c и одного из легких антикварков $\bar{u}$, $\bar{d}$ или $\bar{s}$. Спины кварка и антикварка могут либо складываться, либо вычитаться. В первом случае образуются очарованные мезоны со спином 1, во втором — со спином 0. Все эти частицы уже обнаружены: это мезоны D , D^* , F и F^* . Кстати, F^* -мезон был открыт в 1984 г. одновременно группой ARGUS и группой Института теоретической и экспериментальной физики и Института физики высоких энергий (Серпухов),

³ Haas P., Hempstead M. et al. — Phys. Rev. Lett., 1985, v. 55, p. 1248.



Специалисты за подключением «нервов» дрейфовой камеры — сигнальных кабелей, по которым информация передается в «мозг» установки — ЭВМ.

Установка дрейфовой камеры детектора ARGUS.



анализировавшей нейтринные взаимодействия в пузырьковой камере, облученной на ускорителе Национальной лаборатории им. Э. Ферми в Батавии (США).

Все эти частицы являются основными, имеющими наименьшую массу, состояниями системы кварк-антикварк. Однако, как и

в атоме, должны существовать и возбужденные состояния той же системы, т. е. частицы с большей массой, а по прочим своим свойствам, аналогичные основным. Первые экспериментальные указания на существование возбужденных состояний очарованных частиц недавно получены группой ARGUS. Был обнаружен

мезон с массой 2420 ± 6 МэВ, распадающийся на D^*+ и π^- . Поскольку все основные состояния системы $c\bar{q}$ ($\bar{q}$ — любой из легких антикварков) уже известны, новая частица должна быть ее возбужденным состоянием. Ее масса согласуется с предсказаниями для первых орбитальных возбуждений систе-

мы $c\bar{q}$, сделанных на основе потенциальной модели и модели А. Б. Кайдалова. Правда, квантовые числа новой частицы еще не установлены, и, кроме того, расчеты на основе квантовой хромодинамики приводят к большим значениям массы. Поэтому пока трудно сказать наверняка, что открыто именно орбитальное возбуждение системы $c\bar{q}$.

И в заключение — несколько слов о названиях частиц. Свою частицу мы пока обозначили D^* (2420) — в соответствии с рекомендацией комиссии, работающей сейчас над выработкой систематических названий для частиц. До сих пор названия частиц особым образом не регламентировались и зависели в большей степени от вкусов первооткрывателей. В этих названиях никак не отражены свойства частиц, что представляет большие трудности даже для специалистов, не говоря уже о студентах и людях, работающих в других областях. Рассказывают, что даже великий Ферми сказал когда-то Л. Ледерману, являющемуся ныне директором Лаборатории им. Ферми в Батавии: «Юноша, если бы я мог запомнить названия этих частиц, я бы стал ботаником». А ведь с тех пор ситуация постоянно усложнялась. Новые предложения¹ имеют целью дать каждой частице имя, отражающее ее кварковый состав и квантовые числа, причем привычные уже названия должны изменяться минимальным образом. Некоторые изменения все же неизбежны. Так, F-мезоны предлагается называть D_s -мезонами. Исключением явится лишь знаменитая J/ψ -частица. Говорят, что если бы комиссия попыталась переименовать и ее, то не получила бы денег на свою работу. Шутки-шутками, но думается, что физикам — экспериментаторам есть чем гордиться: если бы не их усилия, подобных проблем с переименованиями просто бы не было.

¹ Porter F. C., Hernandez T. T. et al. Proposal for the Systematic Naming of Mesons and Baryons. Preprint Lawrence Berkeley Lab. Univ. of California, 1985.

Лагуны дальневосточных морей

А. И. Кафанов



Александр Иванович Кафанов, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией динамики экосистем Института биологии моря ДВНЦ АН СССР. Область научных интересов — морская биология, биогеография и систематика двусторчатых моллюсков.

Лагуны — мелководная часть шельфа — на Дальнем Востоке не только многочисленны, некоторые из них тянутся по береговой линии на несколько десятков километров. На Сахалине, например, лагуны составляют пятую часть всей береговой линии острова, много их на Камчатке, особенно в прибрежной части Охотского моря. Азиатское побережье Чукотского моря в сущности представляет собой сплошные лагунные водоемы. Но несмотря на такое множество, по какой-то странной случайности ни о животном, ни о растительном мире дальневосточных лагун до последнего времени почти ничего не известно. А ведь это настоящие оазисы жизни, о которых просто нельзя не знать, нельзя не выяснить их вклад в биологическую продуктивность моря.

Исследование биологических ресурсов шельфа, часть которого составляют прибрежные лагуны, стало особенно актуальным в последние годы, когда большинством прибрежных государств введены 200-мильные экономические зоны, а по существующим международным соглашениям и конвенциям установлен жесткий контроль промысла за пределами этих зон. Ресурсами шельфа прибрежные государства пользуются с незапамятных времен, многие виды организмов давно стали промыс-

ловыми, и с течением времени их запасы все более и более скудеют. Чтобы не сдаться шельф безжизненным и не лишиться тех благ, которые он предоставляет человеку, необходимо искать нетрадиционные объекты промысла, искусственно культивировать организмы, добываемые на просторах шельфа, а также осваивать все его широтные и вертикальные зоны. А для этого необходимо знать, как функционирует эта сложная биологическая система, т. е. должны развиваться разносторонние научные исследования шельфа.

На его площадь, составляющую 5,3 % поверхности нашей планеты, приходится 8,9 % суммарной первичной продукции — органического вещества, образуемого зелеными фотосинтезирующими организмами. Самая же продуктивная часть шельфа — лагуны и эстуарии (затопленные устья рек) — в береговой линии Мирового океана занимают около 13 %, но им нет равных по интенсивности образования органического вещества, его запасам и общей продуктивности. Занимающие всего 0,4 % поверхности Земли, лагуны и эстуарии дают около 2,5 % суммарной первичной продукции. Если же вести расчеты на объем воды, то, принимая во внимание исключительную мелководность лагун, совершенно не сопоставимую с глубинами соб-

ственно шельфа, относительная продуктивность окажется во много раз больше продуктивности всего шельфа. В этой статье мы рассмотрим не весь шельф, а именно его самую богатую жизнью часть — прибрежные лагуны.

Геоморфологи называют лагунами естественные мелководные водоемы, отделенные от моря полосой наносов, но соединенные с ним узкими проливами. Гидробиологи к лагунам и водоемам лагунного типа относят также некоторые заливы, солоноватые и даже пересоленные озера, по геологическим понятиям, недавно отделившиеся от моря. С любой точки зрения, общие отличительные признаки таких водоемов — их слабая связь с морем, мелководность, значительное или, напротив, ослабленное влияние речного стока. От того, впадают в лагуны реки или нет, вода в них может быть менее соленой по сравнению с морской или более соленой. Естественно, что с притоком пресной воды из рек связано и отличие ионного состава лагунной воды от типично морской (вода в лагунах Дальнего Востока, как правило, солоноватая).

В лагунах не господствует прибой, который препятствует сколько-нибудь заметному развитию донных сообществ в прибрежной полосе моря и делает ее пустынным песчаным пляжем. Зимой в умеренных и высоких широтах многие лагуны промерзают до дна и всё живое погибает, сохраняется лишь детрит да остатки погибших животных и растений. Но весной с наступлением тепла на этих обломках жизни начинается бурно развиваться новая жизнь.

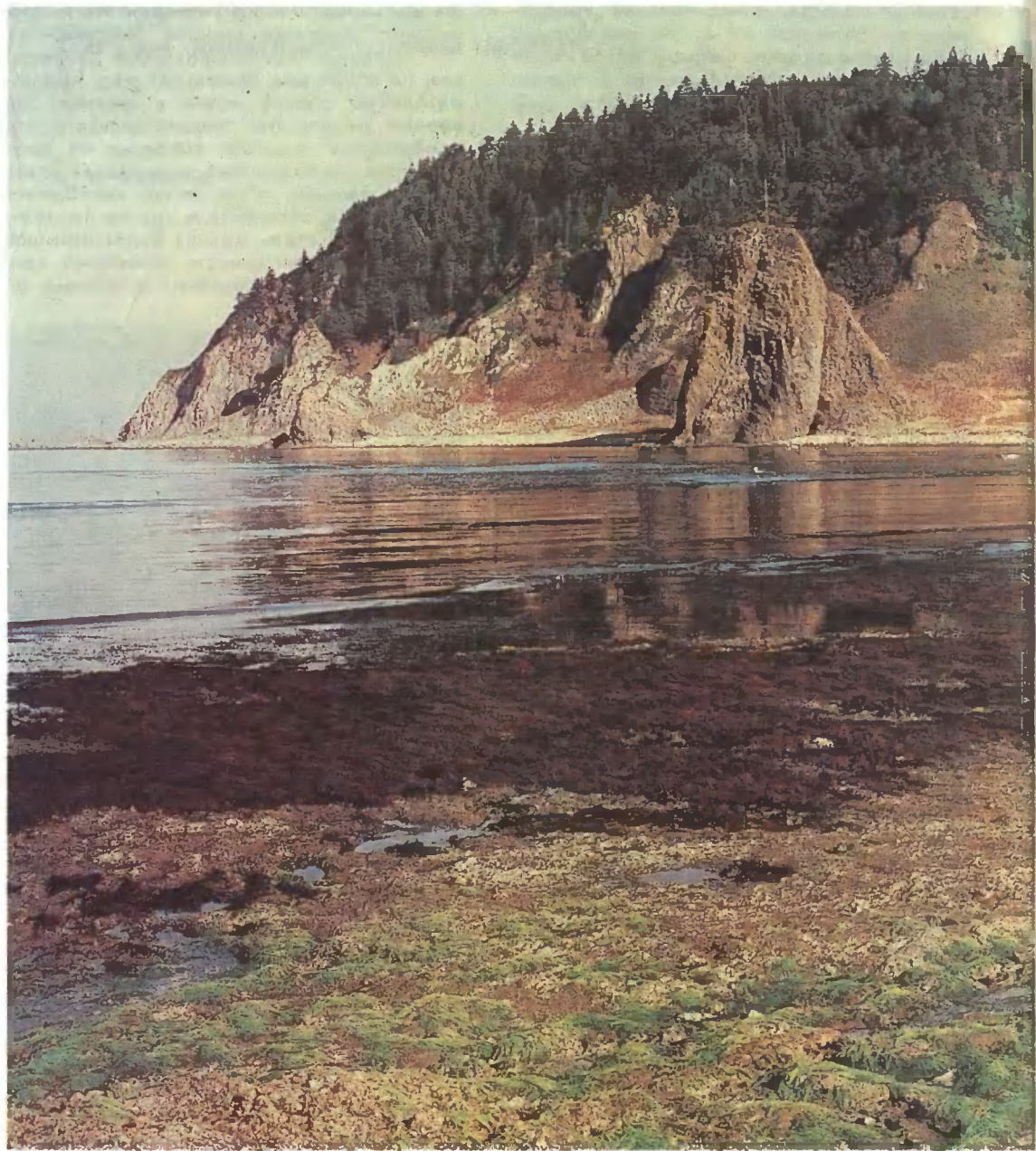
Какие же организмы населяют лагуны Дальнего Востока? Какие сообщества они там образуют и как функционирует вся экосистема лагун? Чтобы ответить на эти и многие другие вопросы, в 1978 г. нашей лабораторией была организована комплексная экспедиция в лагуны Северо-Восточного Сахалина, а через четыре года — в лагуну Семячик в Кроноцком заливе Восточной Камчатки. Заметим, что до этого в 1967 г. в лаборатории хорологии нашего же института были начаты планомерные исследования литорали дальневосточных морей. Хотя попутно и изучалось животное и растительное население лагун, работы эти носили случайный эпизодический характер. Теперь гидробиологические и гидрологические исследования лагун Дальнего Востока стали одним из основных направлений деятельности нашей лаборатории. Большую помощь нам оказывают сотрудники Проблемной лаборатории шель-

фа Дальневосточного университета и Кроноцкого государственного заповедника.

Пока мы получили немного результатов, но и они уже позволяют дать предварительную оценку жизни в лагунах. Эти первые результаты свидетельствуют, что прибрежные морские водоемы — лагуны — очень динамичные экосистемы. Здесь даже в течение суток резко колеблются температура, соленость и другие параметры среды; в столь мелких водах большое влияние на интенсивность жизненных процессов оказывают приливы и отливы. Во



Расположение водоемов лагунного типа на побережьях дальневосточных морей СССР.



время отлива вода быстро прогревается и становится намного теплее морской (например, в лагуне Набиль на Северо-Восточном Сахалине во время отлива воды температура была 22°C , а в Охотском море у входа в лагуну — лишь 11°). Прилив приносит холодные и соленые воды моря, за счет которых снижается температура,

но повышается соленость воды в лагунах. Суточные колебания температуры воды часто составляют больше 10° , а их конкретные значения зависят от глубины лагуны в той или иной ее части. Естественно, как температура, так и соленость неодинаковы в разных частях лагун, т. е. ярко выражена пространственная неоднородность многих



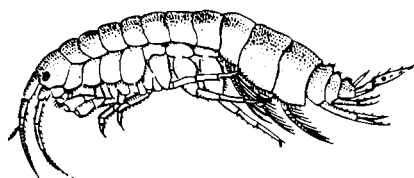
Одна из многочисленных лагун Охотского моря.

чески приспосабливаться к воздушной среде. Суточная динамика численности многих видов рыб и подвижных беспозвоночных буквально повторяет ход суточных изменений температуры и солености воды. Понятно, что лишь немногие виды животных и растений смогли приспособиться к столь специфическим условиям обитания.

В лагунах можно встретить и чисто морские виды, и пресноводные формы, которые оказались способными переносить резкие изменения параметров среды обитания. Кроме них есть еще немногочисленная группа видов, распространенных преимущественно лишь в лагунах и эстуариях. В общем животный и растительный мир здесь менее разнообразен по сравнению с живым миром морских пространств. Так, если в лагуне Семячик на Восточной Камчатке мы обнаружили немногим более 20 видов беспозвоночных с размерами тела более 2 мм, то на литорали скалистого мыса Памятник, лежащего в 5 км южнее входа в лагуну и вдающегося в Охотское море, таких видов было в 7—8 раз больше.

Основу населения лагун Сахалина и Камчатки составляют типичные организмы Берингии — умеренной и холодной зоны Северного полушария. Но в некоторых обитают (хотя и немногие) необычно теплолюбивые для столь высоких широт виды животных и растений. Так, в лагунах Байкал и Помрь на Северном Сахалине мы обнаружили брюхоногого моллюска *Fluvioconchula pirronica* — обычного для фауны субтропических солоноватых вод низких широт. Существование подобных организмов

гидрологических характеристик, которые тем не менее повторяют ритмику приливо-отливных течений. От самих приливов и отливов и тесно связанных с ними изменений температуры и солености воды зависит жизнь обитателей. При отливе осушаются огромные площади этих мелководий, и водное население вынуждено периоди-



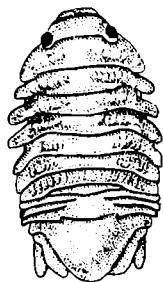
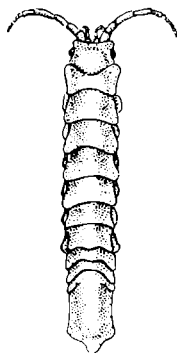
разноногий рак анизогаммарус лагунный



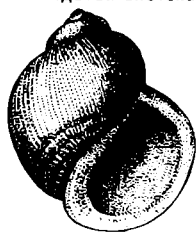
мизиды Дыбовского



мизиды авачинская

равноногий рак
гноримосферма
овальная

идотея охотская

двустворчатый моллюск
макома балтийскаябрюхоногий моллюск
литторина курильская

связано со специфическим температурным режимом лагун, в которых температура воды периодически повышается. В лагунах Северо-Западного Сахалина развитие таких теплолюбивых организмов связано, кроме того, с потеплением вод за счет теплого течения, идущего из Амурского лимана.

На дне дальневосточных лагун мы нашли двусторчатых моллюсков маком (*Macoma balthica*), брюхоногих моллюсков литторин (*Littorina kurila*), несколько видов равноногих раков (*Idotea ochotensis*, *Saduria entomon*, *Gnorimosphaeroma ovatum*, *G. nobile* и др.), амфипод, мизид и креветок. Из растений преобладали морские травы — два вида взморников, или zostер (*Zostera marina* и *Z. japonica*), несколько видов рдестов. Структура лагунных биоценозов оказалась относительно простой. Эта простота и позволяет более полно изучить все стороны разнообразных и сложных взаимоотношений между организмами сообществ. Однако жизнь в лагунах не теплится, а кипит, бедность видового состава здесь компенсируется бурным развитием жизни, когда на каждом квадратном метре можно насчитать до нескольких десятков тысяч экземпляров немногих форм животных и растений, а общая их биомасса достигает нескольких килограммов.

Мы упоминали, что гидрологические параметры не одинаковы по площади лагун. Различны и обитатели. Например, донные сообщества четко подразделяются на сообщества проливов и собственно лагунные. В сообществах проливов больше видов животных и растений (около 80 %), чем в собственно лагунных; они занимают меньшую площадь; участки их обитания большей частью мозаичны; в сообществах проливов менее выражено количественное преобладание одного или нескольких видов; сообщества сильно различаются суммарной биомассой. Например, в лагунном проливе Асланбекова колебания суммарной биомассы четырех сообществ составляли от 5 до 2100 г на квадратный метр площади, а в проливе, соединяющем с морем сахалинскую лагуну Пильтун, суммарная биомасса 12 сообществ составляла от 26 г/м² до 11 тыс.

Собственно лагуны заселены сообществом двух организмов — zostеры морской (*Zostera marina*) и брюхоногого моллюска *Macoma balthica*. Доля их биомассы составляет более 80 % от биомассы всего сообщества. Если zostера морская покрывает 60 % площади дна, то макома не оставляет промежутков на его поверхности: на каждом квадратном метре дна можно

насчитать до 1000 экземпляров этого моллюска. Количество других встречающихся в сообществе zostеры и макомы видов — двустворчатого моллюска *Liocyma fluctuosa*, амфипод, морского таракана *Saduria entomon*, брюхоногого моллюска *Littorina kurila* и zostеры японской (*Z. japonica*) несравнимо меньше. В этом сообществе zostера японская растет куртинами среди зарослей zostеры морской, а на промерзающих зимой участках собственно лагуны однолетняя японская zostера полностью замещает многолетнюю морскую. Если японская zostера растет по краям зарослей морской или в опресненных реками участках, она сама образует сообщество с суммарной биомассой около 175 г/м^2 , причем на долю доминирующего вида приходится около 30 % биомассы. В сообществе японской zostеры невелико и разнообразие других организмов, и их количество: довольно редко встречается *M. balthica*, немного также диатомовых водорослей и амфипод. Местами, близ устьев рек развивается специфический комплекс рдестов — *Potamogeton perfoliatus* и *P. filiformis*. В этом комплексе морская фауна крайне немногочисленна, а основу населения дна составляют личинки комаров мотылей (*Chironomidae*).

Для прилегающих акваторий шельфа исключительно велика роль лагун в образовании первичного органического вещества. Огромная биомасса, создаваемая в них, быстро разлагается и насыщает местные воды растворенным и взвешенным органическим веществом. Количество его пополняется также за счет поступающего из рек листовного опада, продуктов разложения отнерестившихся в реках и погибших лососей, а также за счет обитающих в реках и попадающих в лагуны личинок насекомых. Сюда же заносится во время приливов и огромное количество морских животных. Здесь морская фауна, не сумевшая приспособиться к солоноватой воде, вскоре погибает, а с наступлением отлива в море выносятся все: растворенное и взвешенное органическое вещество, отмершие морские организмы, исконные обитатели лагуны, погибшие в морской воде с ее более высокой соленостью. В результате прилегающие морские участки обогащаются органикой и становятся районами повышенной биологической продуктивности. Таким образом, лагуны как бы являются своеобразными донорами органического вещества. Однако их значение в обеспечении продуктивности собственно шельфа сейчас, по-видимому, еще недооценивается.

Биологическая продуктивность лагун обеспечивается также и фитопланктоном. Количество образованного им органического вещества тоже неодинаково по их площади и так же, как другая биологическая органика лагунных сообществ, попадает в прилегающие морские участки. Первичная продукция органического вещества резко уменьшается по мере удаления в открытое море: на расстоянии в 5 км количество биогенной органики в море составляет 10 % от лагунной, а в 25 км только 5 %. С падением количества органического вещества значительно увеличивается видовое разнообразие морских организмов.

С влиянием лагун связаны и суточные изменения первичной продукции в открытых участках моря, которые, по-видимому, обусловлены выносом органики приливами — отливами. Масштабы обогащения морских пространств за счет органического вещества лагун и эстуариев, видимо, весьма значительны, поскольку на их долю приходится около 7,5 % площади собственно шельфа. А так как водоемов лагунного типа у побережий дальневосточных морей очень много, такие водоемы могут иметь, вероятно, большое значение в обеспечении кормом целого ряда обитающих на шельфе промысловых видов рыб.

И сами лагуны, и прилегающие к ним морские акватории — районы промысла лососевых рыб, сельди, наваги, малоротой и зубатой корюшек. В нескольких лагунах находятся залежки пестрой нерпы ларги, скапливаются водоплавающие птицы. Обилие корма и благоприятные температурные условия позволяют рассматривать лагуны как акватории, в которых можно выращивать беспозвоночных и морские травы, разводить на их пастбищах рыб, т. е. заниматься марикультурой. Но для этого необходимо более подробным образом исследовать лагуны.

Особенно важны такие исследования в связи с биологией лососевых рыб — одного из ценнейших объектов промысла на Дальнем Востоке. Известно, что летом и осенью тихоокеанские лососи рода *Oncorhynchus* отправляются для нереста из моря в реки и озера. Отнерестившись, лососи погибают, а икра сохраняется в нерестилищах до весны. Вскоре после того, как из икры выклюнутся личинки, они скатываются в низовья рек, впадающих или прямо в море, или в лагуны, и откармливаются перед морским периодом жизни. В период нагула молоди развиваются механизмы, регулирующие концентрацию ионов и осмотиче-

ское давление в клетках тела, которые в дальнейшем обеспечивают их биологические процессы в соленой морской воде. Растущие в лагунах мальки получают ряд биологических преимуществ перед теми, которые развиваются в других прибрежных участках. И это вполне понятно, поскольку корма в лагунах несравненно больше, чем в устьях безлагунных рек и в прибрежных участках моря; в солоноватой воде лагун механизмы осмо- и ионорегуляции развиваются постепенно, на их развитие требуется меньше энергетических затрат организма. Таким образом, и в этом лагуны выступают в роли своеобразных депо, которые подготавливают молодь лососей к обитанию в открытом море. Не исключено, что популяции лососей, заходящие нереститься в связанные с лагунами реки, отличаются более высокими темпами роста (особенно в первые годы жизни), более ранним половым созреванием и большей плодовитостью. Специальных работ подобного рода пока нет, но некоторые имеющиеся данные косвенно подтверждают важное значение водоемов лагунного типа в жизненном цикле тихоокеанских лососей¹.

Исследования лагун важны и для рационального использования запасов проходных гольцов — гольца Таранца (*Salvelinus taranetzi*), мальмы (*S. malma*), белого гольца (*S. albus*), курильского гольца (*S. kurilus*) и кунджи (*S. leucomaenis*), а также тихоокеанских форелей — камчатской семги (*Parasalmo penschinskensis*) и микижи (*P. mykiss*) — и сахалинского тайменя (*Parahucho perryi*). Эти виды по сравнению с тихоокеанскими лососями более тесно связаны с пресными и солоноватыми водами, они выходят в море не далее 200 миль от берега и обитают обычно в эстуариях и лагунах, где достигают высокой численности и значительных размеров (масса промысловых гольцов составляет 1—2 кг, а отдельные экземпляры в Северном Приморье превышают 9 кг, на Чукотке — 20 кг, в арктическом побережье Канады даже более 40 кг). Есть сведения, что морской период жизни некоторых стад проходных гольцов может быть ограничен только водоемами лагунного типа.

Сейчас пока нет организованного промысла гольцов, тихоокеанских форелей и

сахалинского тайменя, не используют их и для аквакультуры. Более того, по устаревшим и неверным сведениям, эти виды часто рассматриваются как сорные, и поэтому их бесконтрольно истребляют рыбаки-любители и браконьеры. Между тем нет никаких объективных причин, объясняющих отсутствие промысла этих видов лососевых. По вкусовым качествам гольцы не уступают горбуше и кете, и некоторые — голец Таранца, белый голец — даже вкуснее промысловых видов. В северных районах Сибири и Дальнего Востока гольцы распространены в большинстве водоемов и вместе с сиговыми рыбами составляют 90 % биомассы сообществ пресноводных рыб. В Канаде, США и ряде стран Западной Европы гольцов акклиматизируют и используют в аквакультуре.

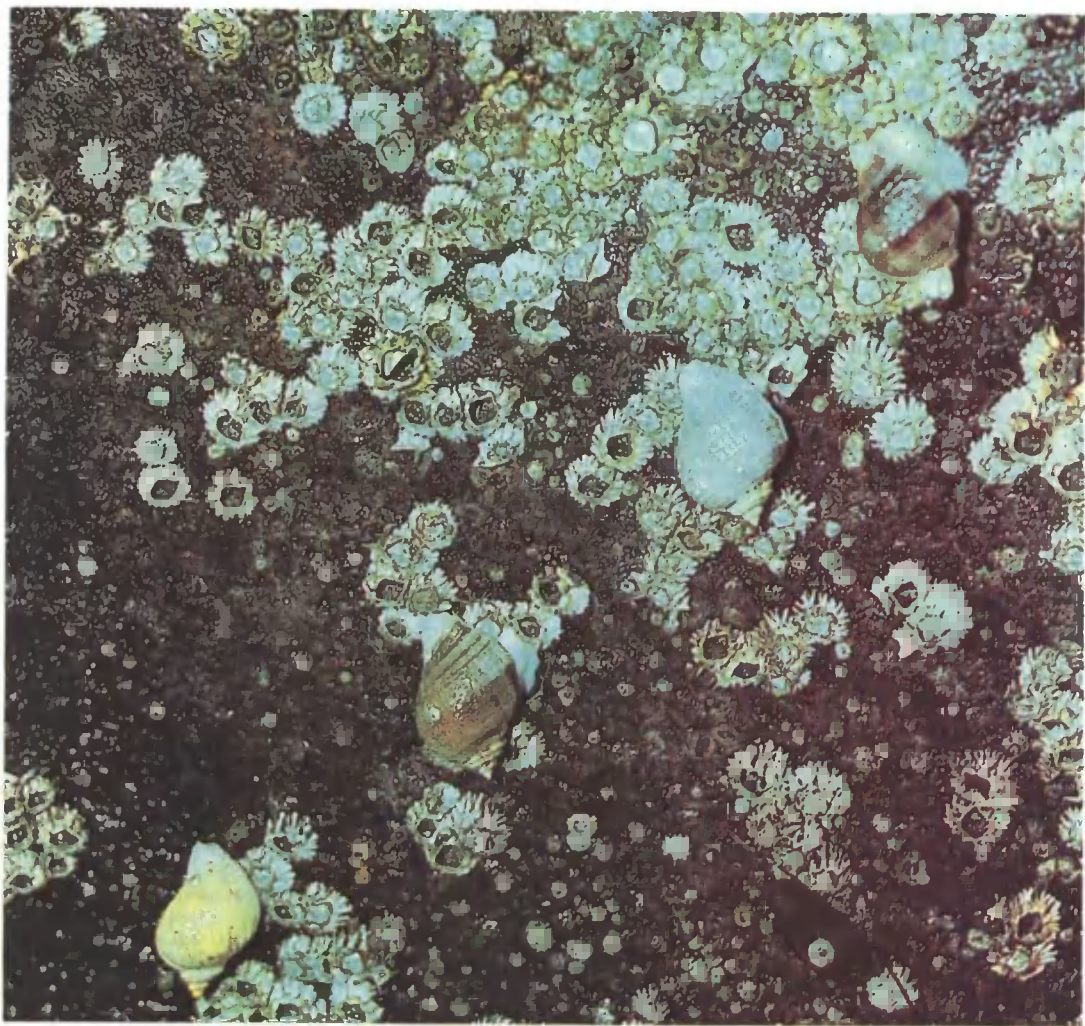
Следует к тому же учесть, что гольцы (мальма и кунджа), а также корюшки и колюшка ограничивают численность тихоокеанских лососей, поскольку являются конкурентами за нерестилища и пищу. Эти же виды поедают молодь лососей в реках, лагунах и прибрежных участках моря. Промысел обычно по-разному сказывается на хищниках (гольцах) и жертвах (молоди тихоокеанских лососей) и поэтому, как справедливо считает сотрудник Камчатского отделения Тихоокеанского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии В. И. Карпенко, можно и даже необходимо разработать такие способы, которые позволили бы рационально использовать все виды системы хищник — жертва². За счет рационального промысла можно было бы повысить выживание молоди в прибрежных водах, а следовательно, и рост численности тихоокеанских лососей; получить дополнительную ценную промысловую продукцию — гольцов и корюшку; оценить продукционный потенциал водоемов лагунного типа, чтобы определить, сколько можно получить рыбы при искусственном воспроизводстве и где необходимо размещать заводы по разведению рыб.

Безусловно, промысел различных видов рыб в лагунах связан с промыслом и марикультурой некоторых беспозвоноч-

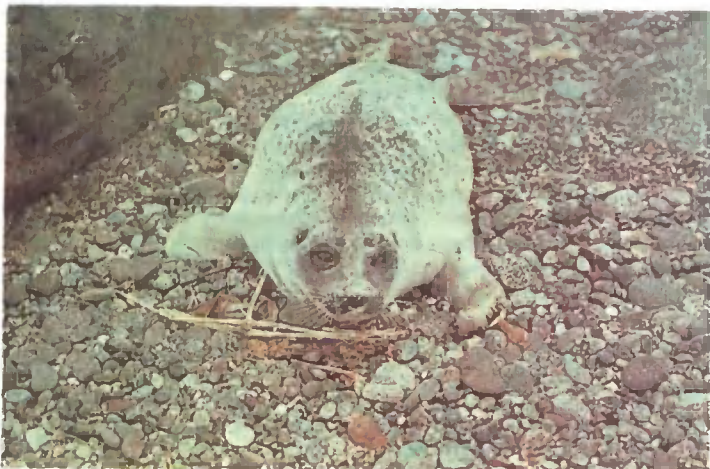
² Карпенко В. И. Роль хищных рыб в формировании численности лососей Восточной Камчатки. — В кн.: Биология шельфовых зон Мирового океана. Владивосток, 1982, ч. 3, с. 18.

³ Паймеева Л. Г. Динамика запасов зостеры в заливе Петра Великого. — В кн.: Рыбохозяйственные исследования умеренных вод Тихого океана. Владивосток, 1980, с. 127.

¹ Черешнев И. А. Материалы по биологии проходных лососевых Восточной Чукотки. — В кн.: Рыбы в экосистемах лососевых рек Дальнего Востока. Владивосток, 1981, с. 116.



Усоногие раки баянусы и моллюски-мускулы в лагунах пролива Аспланбекова (лагуна Набил, Восточный Сахалин)



Детеныш пестрой нерпы ларги, закладки которой есть на побережьях нескольких лагун Дальнего Востока

ных и морских трав, в частности zostеры. Эта морская трава — ценное сырье для некоторых отраслей пищевой, медико-биологической и целлюлозно-бумажной промышленности, это питательный корм для сельскохозяйственных животных, не уступающий лучшим сортам сена из клевера. Промысловые запасы zostеры только в заливе Петра Великого оцениваются в 10—17 тыс. т сырой массы³. Однако в открытых участках шельфа добывать zostеру нежелательно, поскольку ее заросли служат нерестилищами и местом нагула молоди тихоокеанской сельди, некоторых других видов промысловых рыб, а также креветок. Но во многих лагунах, куда из-за их мелководности промысловые стада рыб не заходят, можно регулярно скашивать zostеру и получать корм и технологическое сырье. Зостера лагун имеет явные преимущества перед морской, поскольку ее минеральный состав близок к минеральному составу наземных растений, к тому же на лагунной zostере значительно меньше так называемых организмов-обрастателей, которые мешают переработке этой травы.

Кроме перечисленных доводов в пользу необходимости комплексных исследований, а затем на их основе и организации рационального использования лагун, есть еще один. В дальневосточных лагунах можно разводить беспозвоночных животных, в частности мидий. Коллекторы для выращивания и сбора моллюсков, размещенные в лагунных проливах, а также в наиболее глубоких участках самих лагун, могут давать немалый урожай, причем не только в Приморье, но и в более северных районах Дальнего Востока — на Сахалине, Камчатке, где биомасса мидий даже в естественных поселениях нередко превышает 6 кг/м². Регулярные приливы — отливы несут с собой много питательных веществ — основного корма мидий — и выносят продукты обмена, подавляющие их рост. Здесь нет морских звезд — главных врагов мидий, а суточные колебания температуры стимулируют интенсивный рост и быстрое созревание многих водных животных, повышают эффективность использования моллюсками ассимилированной энергии и их выживаемость⁴. У выросших в лагунах мидий стенка раковины более тонка, а масса мягких тканей больше, чем

у мидий из шельфа. Значит, можно больше получить и товарной продукции.

Итак, лагуны, эти динамичные, но достаточно простые экосистемы, заслуживают самого тщательного изучения с многих точек зрения. Кроме прямого хозяйственного освоения и как места для искусственного разведения некоторых видов организмов, они привлекательны в качестве модельных акваторий для выяснения некоторых фундаментальных вопросов морской биологии. Лагуны представляют собой почти замкнутые экологические системы, изучать жизнь в которых много проще и удобней, чем в бухтах и заливах, а тем более в открытых морских прибрежных водах. В лагунах нетрудно подсчитать баланс органического вещества, которое поступает из рек и моря и выносится в морские воды. А такие расчеты позволяют решить многие проблемы, связанные с теорией биологической продуктивности морских водоемов. Исследование лагун дальневосточных морей сейчас находится в начальной стадии, но уже очевидно, что только на основе научных изысканий по оптимизации промысла и организации хозяйств марикультуры удастся сохранить, а может, и увеличить запасы ценных видов морских рыб, беспозвоночных и водорослей. Будем надеяться, что в будущем мы получим не только чисто теоретические сведения, но и поймем, как можно без ущерба лагунным экосистемам Дальнего Востока собирать с них урожай.

⁴ Галковская Г. А., Суценя Л. М. Рост водных животных при переменных температурах. Минск, 1978, с. 142.

Памятники первобытной аквакультуры

Д. Л. Бродянский,
кандидат исторических наук

Дальневосточный государственный
университет

В. А. Раков,
кандидат биологических наук

Тихоокеанский научно-иссле-
довательский институт рыбного хозяй-
ства и океанографии Министерства
рыбного хозяйства СССР

Владивосток

В рукописи горного инже-
нера И. А. Лопатина, проводив-
шего изыскания в Уссурийском
крае, в 1863 г. приведены све-
дения о древнем памятнике
культуры на мысе Шелеха в за-
ливе Посыета. Позднее, в 1880 г.,
М. И. Янковский, один из пионе-
ров освоения Дальнего Востока,
произвел первые раскопки ра-
ковинной кучи на мысе Туман-
ном. Этот мыс — одно из мест
с раковинными кучами на полу-
острове, который теперь носит
имя Янковского, как и открытая
им археологическая культура
VIII—III вв. до н. э. М. И. Ян-
ковский отметил морскую ори-
ентацию хозяйства, главным в
котором считал собирание мол-
люсков — «насущенного хлеба»
древних, а также рыболовство.
Другими исследователями При-
морья были открыты около 100
поселений и раковинных куч ян-
ковцев на берегах залива Петра
Великого.

Мощные скопления рако-
вин располагались невдалеке от
поселений и содержали керами-
ку, орудия труда, украшения.

Орудия труда и утварь янко-
вцев изготовлены из самых раз-
ных материалов. Из шлифован-
ного камня — многочисленные
деревообрабатывающие инстру-
менты: тесла, долота, топоры.
Из сланца — наконечники стрел,
ножи для разделки рыбы, жат-
венные ножи, скребки и резак
для обработки кожи и бересты,
кинжалы и наконечники копий.
Из оленьих рогов сделаны кирки
и пещи, из кости — иглы, шилья,
поворотные гарпуны, пластины
защитного панциря.

Более ста лет поколения
исследователей сравнивали куль-
туру янковцев с культурами со-
бирателей даров моря на Ог-
ненной Земле и Тасмании, па-
пуасов Новой Гвинеи — огород-
ников и свиноводов, с культурой
датских раковинных куч — кьёк-
кенмёддингов, с культурой арте-
беле, носители которой в V ты-
сячелетии до н. э. имели круп-
ный рогатый скот и расчищали
леса под пашню. Какого же из
этих весьма разных уровней хо-
зяйства достигли янковцы?

Судя по находкам, хозяй-
ство янковцев было комплекс-
ным, многоотраслевым: они вы-
ращивали ячмень и просо, раз-
водили свиней и коров, занима-
лись охотой на крупных таеж-
ных животных, боровую дичь,
водоплавающих птиц. Многочис-
ленные и разнообразны свиде-
тельства рыболовства: кости
рыб, грузила, крючки, гарпуны.
Какое же место в сложном хо-
зяйстве янковцев занимал про-
мысел моллюсков, оставивший
скопления створок раковин —
огромные свалки на морских
террасах и на мысах?

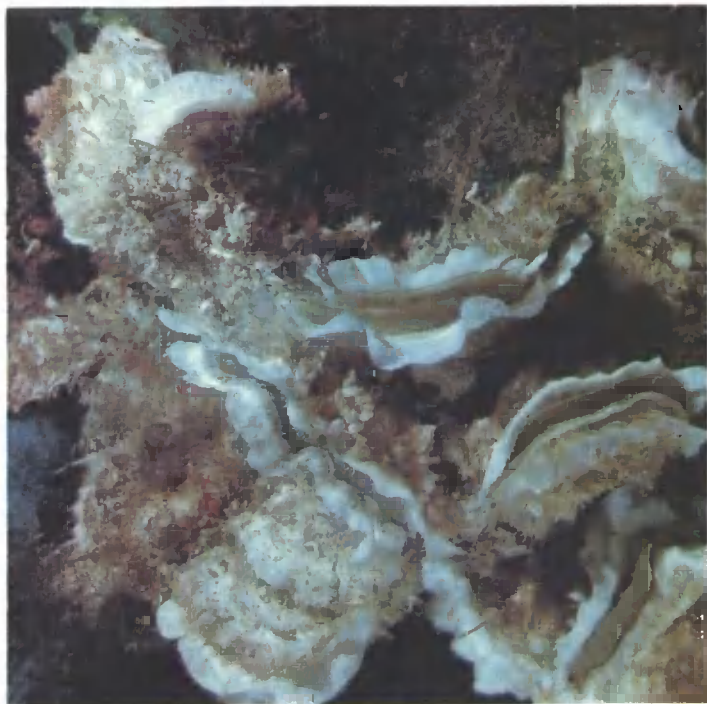
Еще в начале нашего века
А. И. Разин, изучая промысло-
вые запасы моллюсков в заливе
Петра Великого, установил, что
там, где в бухтах и лагунах есть
устричники, на берегу непременно

но расположены раковинные ку-
чи и древние поселения¹. Наши
наблюдения полностью под-
тверждают это: современное
положение устричных банок и
рифов хорошо согласуется с рас-
положением раковинных куч.

Интересно, что более
90 % объема в сохранившихся
кучах, которые мы обследовали,
составляют раковины тихоокеан-
ской устрицы *Crassostrea gigas*.
Эти моллюски образуют плот-
ные скопления на глубине от 0,5
до 3 м, а глубже 5—7 м не
встречаются совсем; устрицы не-
подвижны, их не надо искать,
устричник всегда остается на
знакомом ловам месте. Водят-
ся устрицы в бухтах вблизи
устьев рек, в защищенных от
шторма местах. Промысел здесь
возможен круглый год, в том
числе и зимой, когда бухты про-
мерзают, но лед можно пробить
пешнями и тралить устрицы или
доставать деревянными щипца-
ми (пещи из оленьих рогов най-
дены в слоях янковской культу-
ры). Вкусное и целебное мясо
устриц в воде сохраняет све-
жесть 2—3 недели, его могли
запасать. С каждого квадратного
метра устричника можно со-
брать богатый урожай — от 1
до 20 кг моллюсков; гектар у-
стричника мог дать от 1 до 25 т
мяса в год.

Площадь крупнейших ра-
ковинных куч на мысе Шелеха —
2,45 га, а число добытых устриц
составляет не менее 50 млн
штук. Общий объем учтенных
нами скоплений — не менее
150 тыс. м³, но эта цифра ми-
нимальная, вполне вероятно, что

¹ Разин А. И. Морские
промысловые моллюски
Южного Приморья. Хаба-
ровск, 1934.



Устрицы на дне залива Посьета.

Моллюски из штормовых выбросов на берегу залива

в действительности объем янковских раковинных куч вдвое, втрое больше, ведь многие из них уничтожены при хозяйственном освоении побережья.

Подробное изучение раковинных куч приводит к мысли о древней аквакультуре. По нашим подсчетам, на мысе Шелеха в кубометре раковинной кучи содержится до 3580 створок устриц в возрасте 2—4 лет (длинной 8—12 см), молоди до года — всего 160 моллюсков, или 4% от всех добытых янковцами устриц, более молодых нет совсем. Сходные результаты получены при изучении раковинных куч на берегах лагуны Наездник и на п-ове Песчаный. В современных же устричниках в районе мыса Шелеха процент молоди в разные годы колеблется от 18 до 60%. 4% молоди в раковинных кучах янковской культуры, на наш взгляд, — несомненное свидетельство того, что янковцы сортировали добычу и, отделив молодь, тут же сбрасывали ее в море. Опущенные в море сеголетки прикреплялись к любому твердому предмету: камню,

черепку, створке морского гребешка. Такие предметы в изобилии есть в раковинных кучах, есть янковская керамика на дне бухт, но достоверно установить рассеивание субстратов для устричной молоди сейчас невозможно, они погребены осадками.

Возрастной состав устриц в янковских кучах и сравнение его с современной популяционной структурой показывают, что янковцы высевали молодь на месте промысла. Но ведь с этого акта начинается качественно иной уровень эксплуатации устричников: не просто сбор спелых моллюсков, а аквакультура — ведение организованного хозяйства по разведению и выращиванию водных организмов.

Такой взгляд на хозяйство янковцев совершенно по-новому освещает уровень и этой древней культуры, и историю раковинных куч в целом. К югу и востоку от залива Петра Великого крупные скопления раковин появляются с начала голоцена, 10—9 тыс. лет назад. Мощные слои раковин есть в Японии,

Индонезии, на Корейском п-ове, во Вьетнаме, и относятся они к разным культурам, возраст которых исчисляется 3—11 тыс. лет. Подробно раковинные кучи не изучены, не всегда упоминается, какой моллюск преобладал, нет сведений о возрастном составе моллюсков. В многослойных раковинных кучах о. Хоккайдо М. Акамацу установил, что размеры устриц, филиппинского петушка (*Ruditapes philippinarum*), меретриксы (*Meretrix lusoria*) неуклонно росли от нижних слоев к верхним. А это может быть свидетельством целенаправленной селекции².

Для ряда культур западного побережья Тихого океана, в которых найдены раковинные кучи, доказано существование

² Акамацу М. Об изменениях состава моллюсков в раковинных кучах и трансгрессиях у берегов Хоккайдо в неогене. — В кн.: Исследование Хоккайдо. Осака, 1984, т. 1, с. 15. (на японск. яз.).



земледелия с возделыванием риса или проса и гречихи. Значит, промыслом моллюсков занимались люди, знакомые с посевом, сбором урожая, селекцией. Вероятно, в этой системе прибрежного хозяйства достаточно рано зародилась и развилась аквакультура — третья после земледелия и скотоводства отрасль производящей экономики. Неолитическая революция, подарившая человечеству неограниченные возможности производства продовольствия, — крупнейшая в истории человечества и благодатная по своим последствиям. Аквакультура должна по праву занять свое место в ряду ее достижений.

Янковская культура — поздний северный выплеск прибрежных культур тихоокеанского побережья. Аквакультура хорошо вписывается в представления о специфике и происхождении этой культуры.

Внешняя простота эксплуатации колоний моллюсков порождает сомнения в том, что древние люди высевали и культивировали моллюсков, перево-

дя регулярную добычу природных ресурсов на уровень производящей экономики, а значит сомнения и в правомерности термина «аквакультура». Мы сталкиваемся с той же трудностью, что и при попытках определить нижнюю границу земледелия и скотоводства. В истории первобытного животноводства сходный критерий — повышенное количество молодняка — используется как аргумент в пользу одомашнивания животных.

Изучение первобытной аквакультуры делает первые шаги. Авторам этих строк не удалось найти в литературе упоминаний о столь древней аквакультуре. В общих работах по аквакультуре есть упоминания об устричных парках древнего Рима, Ближнего Востока, опытах в Японии, но археологические работы нам неизвестны. Наши выводы — это, может быть, первое сообщение о неизвестной ранее области первобытной экономики.

В СССР, кроме янковских, нет, вероятно, раковинных куч,

в которых могла бы отразиться первобытная аквакультура. Раковинные кучи античного времени в Крыму — более поздние, неолитические на Дону и Днепре, охотские на Сахалине и Курильских о-вах отражают, по-видимому, собирательство. Генетически янковская культура связана с миром прибрежных культур Восточной и Юго-Восточной Азии. В этом древнеземледельческом мире раковинные кучи накапливались на протяжении всего голоцена. Преобладание в одном скоплении определенного моллюска из числа видов, пригодных для аквакультуры, отмеченное М. Акамацу увеличение от нижних слоев к верхним размеров добывавшегося моллюска, общий высокий уровень развития культур региона — все это аргументы, логично связывающие раковинные кучи с аквакультурой. Прямые свидетельства могут быть получены методом подсчета видового и возрастного состава улова, примененного на янковских устричных кучах. К сожалению, вряд ли удастся найти под слоем осадков искусственные коллекторы, которыми, к тому же, могли служить естественные предметы: камни, раковины. Мало шансов обнаружить и бамбуковые коллекторы типа тех, что устанавливались в районе Хиросимы в XVII в.

В настоящее время тихоокеанских устриц культивируют во многих странах, есть все условия для этого и в нашей стране. Современные крупные скопления тихоокеанской устрицы в заливе Петра Великого находятся в наиболее благоприятной для культивирования географической зоне. Устричники образуют рифы, банки, поля и другие типы скоплений в основном в мелководных бухтах и лагунах. За последние 50 лет в распределении и численности устриц в заливе не произошло каких-либо крупных изменений.

Сейчас в Приморье разработана и проверена в полупромышленном масштабе биотехнология, рассчитанная на 15—22-месячный цикл культивирования устриц в толще воды на коллекторах, начато ее внедрение. Опыт древних обитателей Приморья — вдохновляющий и поучительный пример.

Изображение слона в искусстве античной Бактрии

К. А. Абдуллаев
Т. Д. Аннаев

Самарканд

Вот уже на протяжении двух веков древняя Бактрия привлекает пристальное внимание археологов, востоковедов, историков и искусствоведов своей насыщенной политическими и культурными событиями историей.

Богатый археологический материал, полученный из крупных античных городищ на территории южных областей Узбекистана, Таджикистана, а также Афганистана, составлявших некогда Бактрию (I тысячелетие до н. э.), дает конкретное представление о культуре народов, населявших этот регион, и тех художественных веяниях, которые отразились в изобразительном искусстве.

Сурхандарьинская область на юге Узбекистана ныне представляет собой сплошной оазис. Руины древних поселений, замков, городищ — островки среди зеленых полей хлопчатника и садов.

Трудно представить, что сотни лет назад по этим местам, где ныне вьются серпантины автодорог, где не часто можно увидеть лошадь, запряженную в арбу, и еще реже — всадника, проходили караваны верблюдов, нагруженных товарами из Индии, Китая, Малой Азии, Рима, — на территории Бактрии скрещивались торговые пути многих государств.

Одним из древних животных, здесь обитавших, был двугорбый верблюд — бактриан, незаменимый в труднейших переходах по раскаленным пескам



Греко-бактрийский фалар. III—II вв. до н. э.

пустыни. На рельефах дворца персидских царей в Персеполисе изображены бактрийские данники, ведущие за узду верблюда в дар верховному правителю.

Но редко кому приходит в голову, что, наряду с другими животными, здесь был также и слон.

Индийские слоны, как известно, живут в Индии, Шри Ланке, в странах Индокитая, на Малайском п-ове. В древние времена этих животных в боль-

шом количестве вывозили на территорию Средней Азии, о чем свидетельствуют не только письменные источники, но и археологические находки: монеты, геммы, настенные росписи, терракотовые статуэтки.

Сюжеты и композиции древних мастеров разнообразны. Мирные жанровые картины обращения человека с этими могучими животными соседствуют с батальными сценами, когда слоны с вооруженными всадниками надвигались на противников и растапывали их.

Одно из самых ранних — рубеж II—I тысячелетий до н. э. — упоминаний о боевых

слонах мы находим в индийской Махабхарате. В одном из эпизодов описан поединок двух богатырей Арджуны и Бхишмы. В жестокой схватке переплетаются животные и люди, сраженные стрелами и копьями:

Теряя колеса, и оси,
и дышла,
Сшибались в бою
колесницы; и пришлый
И здешний в предсмертных
мученьях терзались,
Слоны в гущу всадников
грозно врезались,
И падали грузно слоны
друг на друга
И воплями их оглашала
окурга...!

Другое сообщение о слонах, которое передает византийский автор IX в. Фотий, восходит к VI в. до н. э. Фотий описывает поход персидского царя Кира против племени дербиков, обитавших в Каракумах. В тот момент, когда Кир двинул воинов против царя дербиков Аморея, по приказу последнего из засады были выведены слоны — их для этой войны предоставило ему племя индов — союзников дербиков. Сражение закончилось трагично для персидского царя, который был ранен в битве и вскоре скончался.

Впоследствии боевые слоны использовались в войсках самих персидских царей, наводя ужас на противника, как это случилось, по словам римского историка Квинта Курция Руфа, в битве Дария против Александра Македонского. А после упорных боев и захвата части Индии уже и Александр, бывший опытным полководцем, не преминул использовать грозную силу боевых слонов, включив их в свое войско. В сражении с царем Пором он продемонстрировал четкий порядок действий боевых слонов, которые по команде одновременно совершали те или иные военные маневры.

На монетах времени Александра Македонского вычеканено его изображение в шлеме, сделанном наподобие голо-

вы слона. Было ли это символом мощи самого Александра или же знаком поверженности Индии, ясно одно — слон являлся олицетворением несокрушимой силы и исполинской мощи. Вот, например, какими эпитетами награждались герои Махабхараты:

Один — слоновидный,
другой — слонотелый,
Сверкали, казалось,
клыки, а не стрелы.

Или:

Но сын твой поднялся,
исполнен отваги,
Как слон — из озерной
взволнованной влаги...²



Тетрадрахма. Афины на слоновьей квадриге. До 285 г. до н. э. Прорисовка монеты.

Что же представляли собой боевые слоны?

На одном из фаларов (бляшек, на которых крепились перекрещивающиеся подпруги животного), хранящихся в собрании Государственного Эрмитажа, в окружность вписано изображение мерно ступающего боевого слона. На шее его сидит погонщик (карнак), в полу согнутой руке которого небольшая копьевидная палка с загнутым крюком на конце, так называемый анк. На спине слона чепрак, украшенный прямыми параллельными линиями, образующими рамку с изображением морского коня — гиппокампа — в центре. На верхнюю часть чепрака нанесена сетка в виде пересекающихся парал-

лельных линий, означающих, возможно, крепление боевой башни. Последняя представляет собой довольно высокое прямоугольное сооружение, доходившее примерно до уровня груди воина. Выступающие ее части напоминают крепостную башню, на них выгравированы стрельчатые бойницы. Верхние края башни переданы в виде стилизованных зубцов — мерлонов. Внутри этого сооружения находятся два воина с копьями. На голове одного из них характерный бактрийский шлем — аналогичный встречается на монетах бактрийского царя Евкратиды, правившего во II в. до н. э.

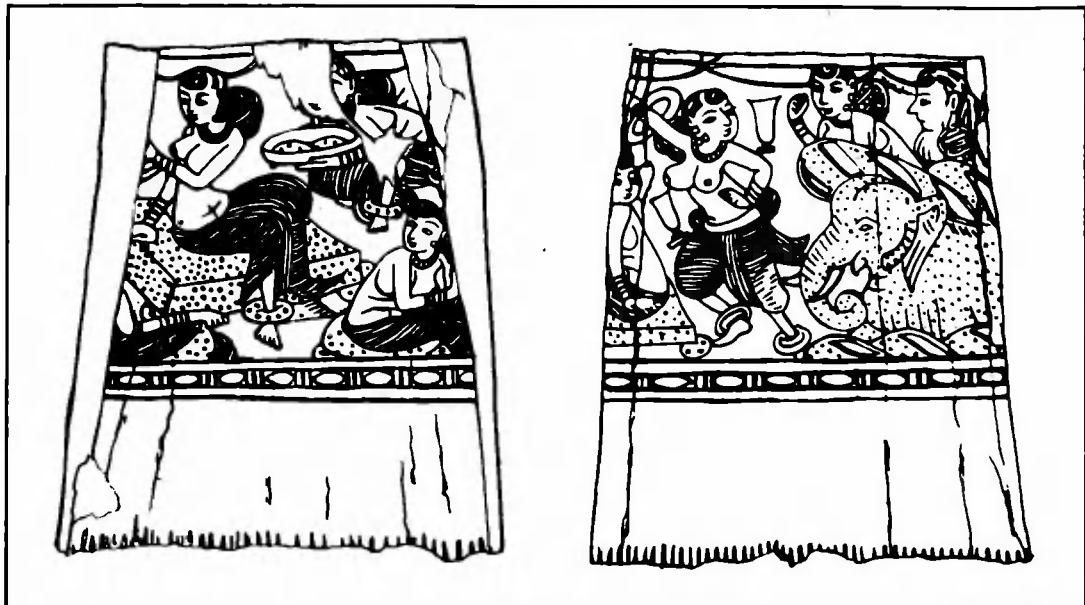
Боевые слоны применялись в войске и впоследствии, когда держава Александра Македонского распалась. Антигон Одноглазый — полководец Александра, наместник Фригии, оказал неповиновение правителю империи Пердикке, который угрожал ему за это войной. Антигон удалился в Европу и в союзе с Кратером, Антипатром и Птолемеем Египетским в 321 г. сам объявил Пердикке войну. Эта война продолжалась и после убийства Пердикки, когда Антигон получил неограниченную власть в Азии. Его противниками были Эвмен — наместник Каппадокии, приверженец Пердикки, и Эвдам, защищавший права наследников Александра Македонского. Этого Эвдама, по сообщению Диодора, привел из Индии 500 лошадей, 300 пехотинцев и 120 слонов, которыми он овладел, когда после смерти Александра убил индийского царя Пору.

Война окончилась поражением Эвмена и Эвдама. Но перед Антигоном выросла новая угроза в лице вавилонского сатрапа Селевка и Птолемея Египетского, которых не устраивало безграничное властолюбие Антигона. В этой борьбе противники последнего также использовали боевых слонов, полученных ими от индийского правителя Чандрагупты, и эти слоны сыграли решающую роль в войне, где Антигон потерпел неудачу.

В письменных источниках часто упоминается, что слонов приводят в дар победителю в числе предметов роскоши. На монетах, чеканенных при Селев-

¹ Махабхарата. Рамаяна. — Библиотека всемирной литературы. М., 1976, с. 196—197.

² Там же, с. 244.



Гребень из Дальверзинтепе. II—III вв. Восседающих на слоне людей сопровождает полуобнаженная женщина с поднятой правой рукой, как бы указывая путь. Прорисовка.

ке I, который после разгрома Антигона в 301 г. до н. э. включил в свою державу Сирию, часть Малой Азии, Армению и всю Среднюю Азию, на реверсе изображена слоновья квадрига. В колеснице возвышается фигура Афины. В левой руке она держит щит округлой формы, в поднятой правой — копье, готовое поразить врага. Мастерски передан синхронный шаг слонов.

Аналогичные изображения слоновьей квадриги или же упряжку из одного слона с сидящей фигурой богини на колеснице можно видеть на монетах чеканки II в. до н. э. Шлем в виде слоновьей головы с поднятым, как бы трубящим, хоботом украшал голову греко-бактрийского царя Деметрия, который считался покорителем Индии. С образом Деметрия связывается также и бронзовая фигурка нагого всадника, голову которого венчает шлем, аналогичный вышеописанному.

Особую популярность среди прочих зооморфных изображений образ слона получает

в период Кушанского царства (I—III вв.), в которое входила значительная часть территории Средней Азии, Афганистана, Пакистана, Северной Индии и др. Изобразительное искусство этой эпохи представлено огромным количеством великолепных памятников зодчества, скульптуры, коропластики (изготовление фигурок из обожженной глины, воска, гипса и пр.), медальерного искусства.

На монетах кушанских правителей (медные тетрадрахмы Хувишки, Вимы Кадфиза) изображение слона, однако, носит иной характер, нежели во времена греко-бактрийской эпохи. Там слоны были впряжены в колесницу, которую трудно представить в условиях обычной — не военной — жизни, а на кушанских чеканах царь сам восседает на слоне — картина, вполне повседневная. Конечно, образ царя, восседавшего на слоне, можно также связать с покорением Индии, но главное здесь все же — отражение взаимопроникновения культур Индии и Бактрии. Примером тому могут служить замечательные находки французских археологов на городище Беграм, бывшей кушанской столице (Афганистан), в 1939—1940 гг. Среди прочего археологического материала особый интерес пред-

ставляла собой коллекция предметов из резной слоновой кости с различными сюжетами на бытовые темы. Надо сказать, что слоновая кость вообще была одним из любимых материалов древних мастеров, ибо по ряду своих качеств она более всего соответствовала требованиям художественной резьбы и гравировки. Ее часто применяли для инкрустации мебели, посуды, архитектурного декора. В надписи персидского царя Дария говорится о применении слоновой кости при сооружении дворца в Сузах (конец VI — начало V вв. до н. э.), куда она привозилась из Эфиопии, Индии и Арахозии (современный Афганистан).

Большинство изделий из слоновой кости в находках на городище Беграм — это фрагменты инкрустированной мебели, дверных створок, выполненных в технике высокого рельефа и гравировки. Они датируются примерно I—II вв. Особое внимание привлекают сцены с изображением людей, приручающих слона. Так, например, на одной из резных пластинок представлен коленопреклоненный слон, на спину которого накинута узорчатая чепрак, ленты, закрепленные на лбу фаларом. Сзади, ступив ему на ногу, взбирается на него погонщик — по внешнему облику, вероятно, индеец — с анком в руке.



Терракотовые статуэтки слона на Кучук-тепе. V—VI вв.

В другой сцене изображается шествие слона в богатом убранстве с двумя седоками на спине.

Слон, опустившийся на передние ноги, склонил голову; стоящий напротив человек, протянув к нему руки, пытается поднять его — таков сюжет еще одной пластины.

При раскопках городища Дальверзинтепе (Сурхандарьинская область) был найден гравированный гребень из слоновой кости (II—III вв.). На одной его стороне изображены госпожа и служанка, на другой — чета, восседающая на слоне, ее сопровождает полубогаженная женщина с поднятой, как бы указывающей путь, правой рукой.

Подобные сюжеты свидетельствуют о приручении слона, который играл уже немаловажную роль в быту.

Изображение слона в этот период нередко и в корoplastике. В Беграме, например, была найдена терракотовая статуэтка слона (III—IV вв.). Две террако-

товые же фигурки были обнаружены также при раскопках городища Зар-тепе в Сурхандарьинской области.

Первая из них представляет собой небольшую, вылепленную из глины скульптурку слона размером около 6,5 см. На поверхность ее нанесен ангоб (декоративное керамическое покрытие) желтовато-зеленого оттенка. Довольно четко вылеплены голова животного с оттопыренными ушами. Глаза — глубоко просверленные отверстия в верхней части головы. Непропорционально — относительно всей фигуры — переданы массивно выступающие бивни слона. Между бивнями свисает длинный хобот. На спине сохранились следы налепа, с правого бока остался кусочек такого налепа, означающий, видимо, ногу всадника.

Другая фигурка более крупных размеров (длинной 17 см) с разглаженной поверхностью серовато-розового цвета. Голова слона на вытянутой шее имеет совершенно плоскую форму. Глаза переданы слегка выступающими округлыми рельефами, в середине которых просверлены отверстия. Хобот плоской формы, нижняя часть отколота. На спине сохранился скол овальной формы. Подобные сколы имеются на зооморф-

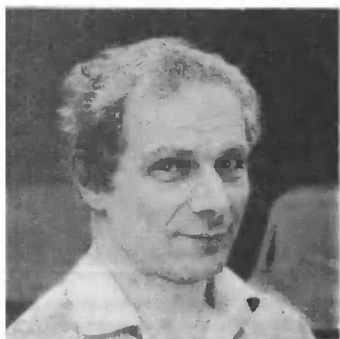
ных терракотовых статуэтках, которые служили в качестве подставок для сосудов, крепящихся, как правило, на спинах животных. Среди археологического материала городища Беграм встречаются и сосуды на зооморфных подставках, среди которых имеются и подставки в виде фигурки слона. По мнению французского археолога Р. Гиршмана, в Беграме существовал культ слона.

Терракотовая статуэтка слона (V—VI вв.) была найдена также при раскопках раннесредневекового замка Кучук-тепе.

Таким образом, в античную эпоху на территорию Средней Азии слоны ввозились в большом количестве. Они широко использовались как в военных, так и в мирных целях. Изображения боевых слонов дают нам некоторое представление о контингенте войск древних государств Среднего Востока, об их военной организации и боевом порядке. Вместе с тем слоны приобретали большую популярность и при царских дворах и вообще в быту, о чем свидетельствуют частые находки терракотовых фигурок на территории древней Бактрии. Это явление, видимо, не случайно, ибо на этот период приходится пора расцвета Кушанского царства и его тесные связи с Индией.

Органические сверхпроводники

Л. Н. Булаевский, И. Ф. Щеголев



Лев Наумович Булаевский, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР. Основные научные интересы относятся к физике твердого тела, квантовой химии и медицинской статистике. Один из авторов книги: Проблемы высокотемпературной сверхпроводимости. М, 1977. В «Природе» опубликовал статью: Магнитные сверхпроводники (1984, № 9).



Игорь Фомич Щеголев, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией Отделения Института химической физики АН СССР в Черноголовке, профессор Московского физико-технического института. Занимается изучением органических проводников и сверхпроводников.

Всего каких-нибудь двадцать пять лет назад электрические свойства органических соединений интересовали очень редких исследователей. Эти соединения, построенные всего из шести химических элементов: водорода, углерода, азота, кислорода, фосфора и серы — хотя и характеризовались феерическим разнообразием структур и превращений, привлекали внимание в основном химиков и биологов. Все известные к тому времени органические соединения представляли собой типичные диэлектрики и по богатству электрических свойств не могли конкурировать с металлами или полупроводниками.

К настоящему времени ситуация изменилась радикально. Сначала появились органические проводники, так что слова

«проводник» и «металл» перестали быть синонимами¹. Затем удалось получить органические сверхпроводники, и физика органических соединений стала неотъемлемой составной частью современной физики твердого тела.

О новых органических проводящих соединениях — синтетических металлах и сверхпроводниках, а также об идеях, приведших к их созданию, и пойдет речь в этой статье.

¹ Авторы сознательно «забывают» здесь об электролитах и плазме, которые иногда также причисляют к проводникам, хотя их электропроводность имеет другую природу.

ДИЭЛЕКТРИКИ, ПРОВОДНИКИ И СВЕРХПРОВОДНИКИ

Как известно, все вещества делятся на проводники и диэлектрики, заметно отличающиеся по своим свойствам². В частности, в проводниках сопротивление электрическому току уменьшается, а в диэлектриках растет при понижении температуры.

Почему же обычные металлы оказываются хорошими проводниками? Ответ на этот вопрос дает электронная теория, созданная после открытия электрона в конце прошлого века.

В металлах положительные ионы образуют периодическую кристаллическую решетку, а электроны проводимости могут свободно перемещаться в пространстве между ними. Тем самым, они делокализованы по всему объему образца. Из-за примесей и других нерегулярностей решетки, а также тепловых колебаний ионов при отсутствии электрического поля электроны движутся хаотически, подобно броуновскому движению атомов или молекул при диффузии. Но в электрическом поле движение электронов становится направленным, т. е. возникает электрический ток, пропорциональный напряженности этого поля (закон Ома). Коэффициент пропорциональности, называемый проводимостью, тем больше, чем слабее рассеяние электронов на различных нерегулярностях кристаллической структуры, в том числе и обусловленных тепловым движением ионов.

На первый взгляд, в такой простой картине все кристаллы с «коллективизированными» электронами оказываются проводниками. Однако, по законам квантовой механики, электроны с некоторыми значениями энергии не могут двигаться в кристаллической структуре из-за сильного рассеяния на периодическом потенциале ионов. В кристалле появляются разрешенные и запрещенные значения энергии электрона — так называемые энергетические зоны и щели в электронном спектре энергий. При нулевой температуре электроны заполняют все возможные низшие уровни энергии, причем в соответствии с одним из основных положений квантовой те-

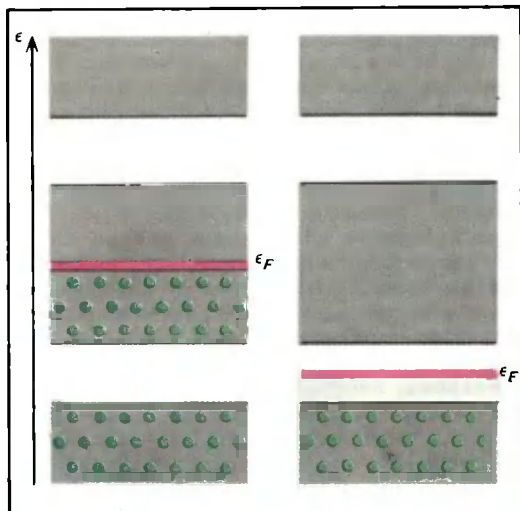
рии — принципом Паули — каждое состояние с данной энергией заполняется только двумя электронами, у которых собственные моменты количества движения (спины) направлены в противоположные стороны. Значение энергии, до которого при нулевой температуре заполнены все состояния, называют энергией, или уровнем Ферми. Если этот уровень лежит внутри энергетической зоны, иначе говоря, если она заполнена лишь отчасти, то в электрическом поле электроны могут увеличивать свою энергию за счет направленного движения, т. е. возникнет ток.

Если же все зоны либо полностью заполнены, либо пусты, т. е. уровень Ферми располагается в щели энергетического спектра, слабое поле неспособно вызвать направленное движение электронов, и кристалл оказывается диэлектриком. Правда, если щель, куда попадает уровень Ферми, невелика, в зоне над ним есть некоторое количество электронов, возбужденных тепловым движением, и кристалл может проводить ток. Однако при охлаждении его проводимость будет падать из-за уменьшения числа носителей тока. Такой кристалл называют полупроводником. В проводниках и полупроводниках при протекании тока выделяется тепло, поскольку электроны отбирают энергию у электрического поля и отдают ее решетке, «раскачивая» ионы при рассеянии.

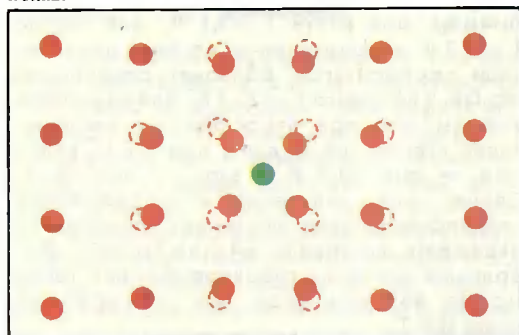
В сверхпроводящем состоянии протекание электрического тока не сопровождается выделением тепла; другими словами, удельное сопротивление вещества падает до нуля (проводимость обращается в бесконечность). Такое состояние появляется во многих металлах и их соединениях ниже некоторой критической температуры T_c . Например, для ртути $T_c = 4,1$ К, для свинца $T_c = 7,2$ К, а рекордной на сегодня критической температурой обладает соединение Nb_3Ge , у которого $T_c = 23,2$ К. Для сравнения укажем, что при атмосферном давлении гелий становится жидким при 4,2 К, водород — при 20,3 К и азот — при 78 К. Сейчас для получения и поддержания сверхпроводящего состояния приходится охлаждать материалы жидким гелием, ибо большие значения сверхпроводящих токов можно получить лишь при температурах ниже $0,5 T_c$.

Сверхпроводящее состояние образуется из-за эффективного взаимного притяжения электронов. Поясним сначала, как возникает такое притяжение. Казалось бы, электроны, будучи одновременно заряженными, должны отталкиваться друг от друга.

² Поскольку нас интересует главным образом сверхпроводимость, имеющая место при сверхнизких температурах, более подробная классификация веществ по их электрическим свойствам (включающая полупроводники) не дает с этой точки зрения ничего нового. Ведь при таких температурах полупроводники не отличимы от диэлектриков.



Электронные спектры в металле (слева) и диэлектрике (справа). Области допустимых значений энергии электронов ϵ — так называемые разрешенные энергетические зоны — закрашены (соседние разрешенные зоны разделены запрещенной щелью); точками дополнительно отмечены зоны, заполненные электронами. Уровень Ферми ϵ_F (цветная прямая), ниже которого при абсолютном нуле температуры все электронные состояния заняты, а выше — свободны, в металлах попадает в разрешенную зону, а в диэлектриках — в запрещенную щель. Иными словами, в диэлектриках верхняя занятая электронами (валентная) зона «набита битком», так что электроны могут прийти в движение, только попав в следующую свободную зону, т. е. если их энергия возрастет на величину, превышающую ширину щели. Это происходит лишь в очень сильных электрических полях — при пробое диэлектрика. В металлах же электроны в разделенной уровнем Ферми зоне (зоне проводимости) имеют возможность свободно переходить из состояний под уровнем Ферми в лежащие над ним, изменяя при этом свою энергию совсем незначительно, т. е. начинают двигаться, порождая электрический ток, в сколь угодно слабых полях.



Возникновение эффективного притяжения между электронами в обычном сверхпроводнике. Выделенный электрон проводимости (зеленый кружок), двигаясь в кристаллической решетке, притягивает к себе положительные ионы (красные кружки), так что около него образуется область с избыточным положительным зарядом, к которому притягивается другой такой же электрон.

Но в кристалле кроме обычного кулоновского отталкивания между ними действует еще и притяжение, благодаря тому что каждый из них взаимодействует с положительными ионами. Электрон, двигаясь по кристаллу, притягивает ионы, создавая на своем пути область избыточного положительного заряда. Другой электрон притягивается к этой области и, тем самым, к первому электрону. Принято говорить, что первый электрон возбуждает фонon (отклоняя ионы от положения равновесия), а второй — поглощает его, так что притяжение электронов обусловлено обменом фонами. Если притяжение превышает кулоновское отталкивание, то в движении электронов проявляются очень сильные корреляции. Они особенно выражены для электронов с противоположными скоростями и спинами. Такие электроны могут образовать связанную пару, именуемую куперовской³. Тепловое движение разрушает куперовские пары, так что фактически они рождаются лишь при температурах $T < T_c$. Эти пары «помогают друг другу» поддерживать общее скоррелированное движение электронов: образование пар — коллективный эффект, и в точке T_c происходит фазовый переход из нормального состояния в сверхпроводящее. В сверхпроводящем состоянии при протекании тока все куперовские пары двигаются одинаково и только тогда они «помогают друг другу». Примесь не может изменить движение одной пары, так как его «поддерживают» все остальные пары. Поэтому примеси не изменяют направленного движения пар, и ток в сверхпроводнике течет неограниченно долго и при исчезновении поля, в то время как в нормальном состоянии ток после удаления поля быстро затухает.

Критическая температура сверхпроводящего перехода

$$T_c = \omega_D \cdot e^{-1/9}$$

тем выше, чем больше энергия фононов в решетке, характеризующая величиной предельной частоты упругих колебаний кристаллической решетки — так называемой дебаевской частоты ω_D , и чем сильнее они взаимодействуют с электронами (это взаимодействие описывается константой g)⁴. Энергия фононов, которыми обме-

³ Подробнее об этом см., напр.: Булаевский Л. Н. Магнитные сверхпроводники. — Природа, 1984, № 9, с. 12.

⁴ В физике твердого тела частоту ω , энергию E и температуру T часто измеряют в одних

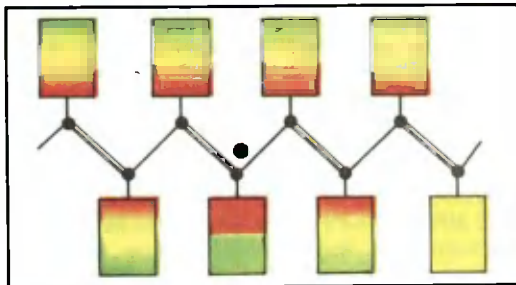
ниваются электроны в кристалле, растет с уменьшением массы M ионов, так что ω_D пропорциональна $M^{-1/2}$. В металлах и их соединениях $\omega_D \leq 300$ К, а величина g близка к $1/3$, поэтому T_c не превышает 20—30 К. По-видимому, предельное значение T_c для неорганических соединений практически уже достигнуто⁵. Во всяком случае, в течение десяти с лишним лет не удалось найти соединение с более высокой критической температурой, чем у Nb_3Ge . Между тем повысить T_c чрезвычайно важно, ибо охлаждение жидким гелием очень дорого, и это затрудняет широкое использование сверхпроводников в линиях электропередачи, электромоторах, генераторах и т. п. Сверхпроводимость при более высокой температуре (хотя бы при температуре жидкого азота) произвела бы буквально революцию в современной технике.

ЗАМАНЧИВАЯ ИДЕЯ — СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

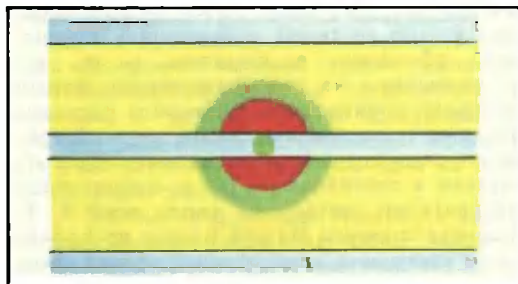
В 1964 г. В. Л. Гинзбург в нашей стране и В. Литтл в США предложили повысить критическую температуру, заменив притяжение электронов проводимости, возникающее из-за обмена фононами, притяжением, которое имеет ту же природу, но связано с возбуждением других (валентных) электронов в специально подобранных структурах. При этом, поскольку электрон примерно в 10^4 раз легче иона, в соответствии с приведенной формулой значение критической температуры повысится примерно в сто раз, если удастся сохранить параметр g для нового механизма на том же уровне, что и у электрон-фононного взаимодействия.

В. Литтл намеревался реализовать новый механизм притяжения электронов (его называли экситонным) в органической структуре, напоминающей цепочку. В такой системе электроны проводимости, двигаясь вдоль длинной органической молекулы,

единицах. При этом подразумеваются соотношения $E = kT = \hbar\omega$, где $k = 1,38 \times 10^{-23}$ Дж/К — постоянная Больцмана, $\hbar = 10^{-34}$ Дж·с — постоянная Планка.
⁵ Существуют, в частности, теоретические оценки, согласно которым максимальное значение T_c в обычных неорганических структурах с фононным механизмом образования куперовских пар не превышает 30—40 К. Подробнее об этом см. в книге: Проблемы высокотемпературной сверхпроводимости. М., 1977.



Предложенный В. Литтлом механизм эффективного притяжения электронов в квазиодномерной структуре. Электрон проводимости (зеленый кружок), перемещаясь по «цепочке» атомов (черные кружки), соединенных между собой химическими связями (отрезки ломаной), поляризует в целом нейтральные боковые «отростки» молекулы (желтые прямоугольники), т. е. отталкивает их валентные электроны (обозначены зеленым), так что отрицательный заряд скапливается преимущественно возле удаленных от цепочки границ этих отростков. У ближних же при этом концентрируется избыточный положительный заряд (обозначен красным), к которому притягивается другой электрон проводимости.



Слоистая структура, в которой, по предположению В. Л. Гинзбурга, возможна сверхпроводимость при комнатной температуре. Обладающие высокой электропроводностью металлические слои (обозначены синим) чередуются с легко поляризуемыми полупроводниковыми (обозначены желтым). Движущийся в металлическом слое электрон проводимости поляризует полупроводник, т. е. отталкивает отрицательный заряд (обозначен зеленым), создавая вокруг себя облако избыточного положительного заряда (обозначено красным), к которому притягивается другой такой же электрон.

поляризуют боковые группы атомов, что приводит к колебаниям электронов (электронным возбуждениям) этих боковых «отростков». Подобные электронные возбуждения с энергиями порядка 10^4 К и должны обеспечить эффективное притяжение между электронами так же, как это «удается» колебаниям ионов (фононам) в обычном сверхпроводнике.

В. Л. Гинзбург предложил аналогичный механизм притяжения электронов, но,

в отличие от В. Литтла, отдал предпочтение не цепочечной структуре, а слоистой — типа сандвича, где проводящие металлические слои чередовались бы с легко поляризуемыми полупроводниковыми.

Особенности этих структур мы еще обсудим, а пока попытаемся разобраться, как вообще по органической одномерной цепочке может течь электрический ток.

СОПРЯЖЕННЫЕ СВЯЗИ — ОСНОВА СИНТЕТИЧЕСКИХ МЕТАЛЛОВ

Чтобы ответить на поставленный в конце предыдущего раздела вопрос, нам понадобится понять, что такое сопряженные связи. Для этого подробнее рассмотрим, как устроена молекула одного из наиболее простых представителей углеводородов — этилена (C_2H_4). На внешней оболочке четырехвалентного атома углерода находятся четыре электрона. Их возможные состояния принято обозначать символами $2s$, $2p_x$, $2p_y$, $2p_z$. Здесь цифра означает номер частично заполненной (валентной) оболочки, а символы s , p_x , p_y , p_z указывают на геометрическую форму «облака» электронной плотности рассматриваемого состояния. Состояние s сферически симметрично относительно ядра углерода, а состояния p_x , p_y , p_z имеют форму гантелей, вытянутых вдоль осей X , Y , Z соответственно. Из них можно построить такие состояния, электронные облака которых вытянуты по направлению к «партнеру» атома углерода в молекуле (именно они и образуют химические связи). В этилене эти облака в атомах углерода имеют форму трех вытянутых орбиталей, лежащих в одной плоскости (X , Y) и расположенных под углом 120° друг к другу. Они составлены из трех различных смесей (физики их называют суперпозициями) состояний s , p_x , p_y . Одна из орбиталей направлена к соседнему атому углерода, а две другие — к атомам водорода, валентные электроны которых находятся в состоянии $1s$ (все атомы в молекуле этилена лежат в одной плоскости)⁶.

Перекрытие электронных орбиталей разных атомов стягивает их в молекулу, и химическая связь в молекуле тем прочнее, чем сильнее это перекрытие. Именно поэтому для создания прочных химических связей нужны направленные орбитали, которые принято называть σ -орбиталями. Электроны на этих орбиталях локализованы между атомами, участвующими в образовании связи (ее называют σ -связью). Как и в куперовской паре, спины таких электронов направлены в противоположные стороны, что позволяет им занимать одну и ту же область пространства, связывая атомы (согласно принципу Паули, электроны с одинаковыми спинами не могут находиться в одной точке — они как бы отталкиваются друг от друга). Итак, в молекуле этилена пять σ -связей: одна $C—C$ и четыре $C—H$. В каждом из атомов углерода остается еще по одному электрону на орбитали p_z , которая не обладает направленностью в плоскости X , Y — она напоминает «восьмерку», перпендикулярную этой плоскости. Эти орбитали также перекрываются друг с другом, хотя и слабее, чем орбитали σ -связей. Их называют π -орбиталями, находящиеся на них электроны — π -электронами, а обусловленные ими связи — сопряженными.

Различие свойств электронов σ - и π -связей начинает проявляться в молекулах с числом углеродных атомов, большим двух. Чтобы понять это, рассмотрим полимер полиацетилен $(CH)_n$, построенный на основе молекулы этилена и содержащий n атомов углерода в цепочке. Здесь каждый атом углерода образует две σ -связи с соседними атомами углерода и одну σ -связь с атомом водорода. Как и в молекуле этилена, все атомы и σ -связи в полиацетилене лежат в одной плоскости (X , Y) и составляют друг с другом углы примерно 120° : принцип построения направленных орбиталей для атомов углерода в обеих молекулах одинаков. Четвертый валентный электрон каждого атома углерода и в этом случае находится в состоянии p_z , но теперь его орбиталь перекрывается с двумя орбиталями p_z соседних атомов углерода. В результате каждый π -электрон уже не локализован между какими-то определенными атомами C в молекуле, а может, образно говоря, переходить по цепочке от одного атома углерода к другому. Другими словами, он делокализован в пределах всей молекулы и как бы принадлежит всем атомам углерода одновременно.

⁶ Распределение электронной плотности состояния определяется квадратом модуля его волновой функции. Орбиталь представляет собой суперпозицию волновых функций s -, p_x - и p_y -состояний с комплексными коэффициентами. Поэтому распределение электронной плотности для направленных орбиталей не сводится к сумме электронных плотностей этих состояний. Подробнее об этом см.: Полинг Л. Общая химия. М., 1974.

Электроны σ -связей, локализованные между двумя атомами, нечувствительны к слабым воздействиям. Чтобы привести их в движение, или возбудить, нужны энергии порядка 10^4 К, так что в слабом электрическом поле не возникает направленный поток электронов, образующих σ -связи в невозбужденной молекуле. (В терминах зонной теории это означает, что разрешенные энергетические зоны для σ -электронов либо полностью заняты, либо пусты и разделены большой запрещенной щелью.) Поэтому вещества, состоящие из молекул с одними только σ -связями, относятся к диэлектрикам. Именно так обстоит дело в хорошо известном полимере — полиэтилене $(\text{CH}_2)_n$, где все четыре связи атома углерода представляют собой σ -связи: две из них — это связи $\text{C} - \text{C}$, а две другие — $\text{C} - \text{H}$.

Иначе «ведут себя» π -электроны. Будучи делокализованы по всей молекуле, они напоминают электроны проводимости в металлах. В идеальной молекуле полиацетилена с совершенно одинаковыми расстояниями между атомами углерода π -электроны образовали бы одну наполовину заполненную зону, поскольку с учетом всех ориентаций спина в молекуле с n возможными π -орбиталями существует $2n$ состояний, в то время как число всех π -электронов равно n . Такая молекула обладала бы «металлическими свойствами» в сколь угодно слабых электрических полях, направленных вдоль оси молекулы. Именно полимер с сопряженными связями вдоль всей молекулы В. Литтл и предлагал использовать в качестве проводящего остова в одномерной структуре с поляризующимися боковыми «отростками».

Однако не всякая молекула с сопряженными связями в действительности проявляет «металлические свойства». Так, реальная молекула полиацетилена оказывается «диэлектриком». Дело в том, что расстояния между соседними атомами C в ней неодинаковы — значения длин связей 1,39 и 1,41 Å чередуются вдоль цепочки (причина этого обсуждается ниже). Гипотетическая структура с одинаковым расстоянием 1,4 Å между атомами углерода как бы слегка искажена — атомы C попарно сближаются друг с другом. В результате зона π -электронов расщепляется на две подзоны, разделенные щелью около 1000 К. Из них нижняя полностью занята, верхняя же — пуста, и при отсутствии примесей реальная молекула полиацетилена обладает «диэлектрическими свойствами».

Молекула полиацетилена представляет собой простейшую линейную молекулу с сопряженными связями. Более сложные молекулы содержат кольца с сопряженными связями. Самая простая из них — молекула бензола (C_6H_6) — имеет вид кольца с шестью распределенными по нему π -электронами. Другие плоские молекулы, как правило, составлены из нескольких бензольных колец. Цепочечный или слоистый полимер, построенный из таких колец, также может характеризоваться металлическими свойствами.

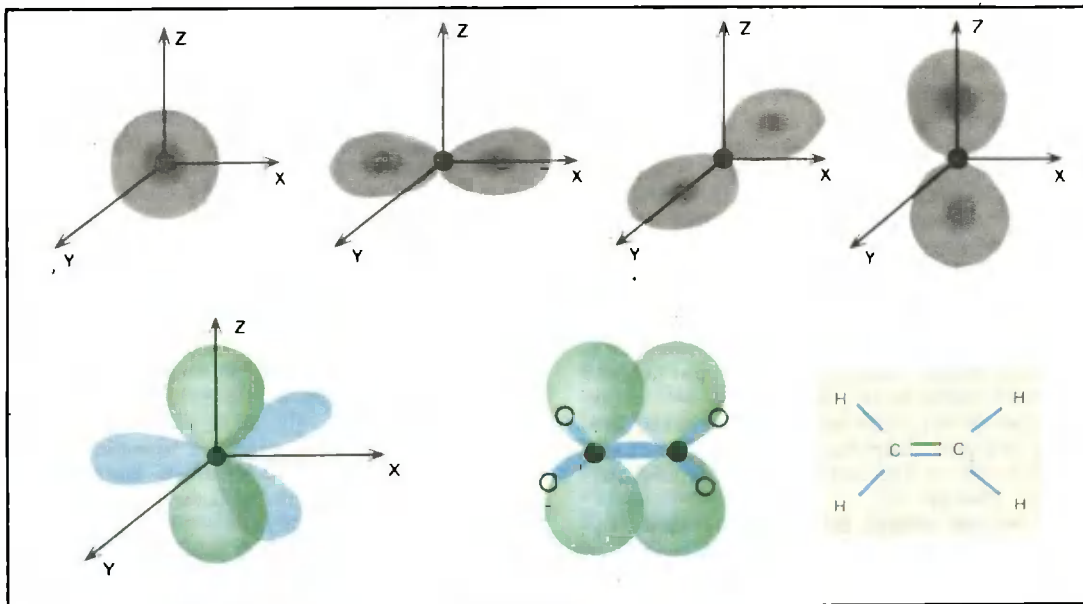
БЕГ С ПРЕПЯТСТВИЯМИ: ЦЕЛЬ — ОРГАНИЧЕСКИЙ СВЕРХПРОВОДНИК

Чтобы реализовать предложение В. Литтла, надо было прежде всего синтезировать хорошо проводящую органическую цепочку, а в случае успеха уже подбирать боковые «отростки», обладающие необходимыми свойствами. Химики совместно с физиками взялись за выполнение первой задачи. Наметились два подхода к созданию проводящих одномерных структур. В одном из них ставка делалась на полимерные цепи с сопряженными связями, в другом — на кристаллы из плоских кольцевых органических молекул с π -электронами, уложенных одна на другую в виде стопок.

Группа сотрудников Института химической физики (ИХФ) АН СССР выбрала второй путь, руководствуясь тем, что кристаллы можно сделать достаточно чистыми, легко идентифицировать с помощью рентгеновского анализа, и к ним сравнительно просто подсоединить электрические контакты.

Внимание исследователей привлекли синтезированные незадолго до этого американским химиком К. Кеплером так называемые соли с переносом заряда, анионами в которых выступают плоские органические молекулы TCNQ (тетрацианхинодиметана), а катионами — молекулы Qp (хинолиния), NMP (N -метилфеназина) и ряд других, близких по форме. Эти плос-

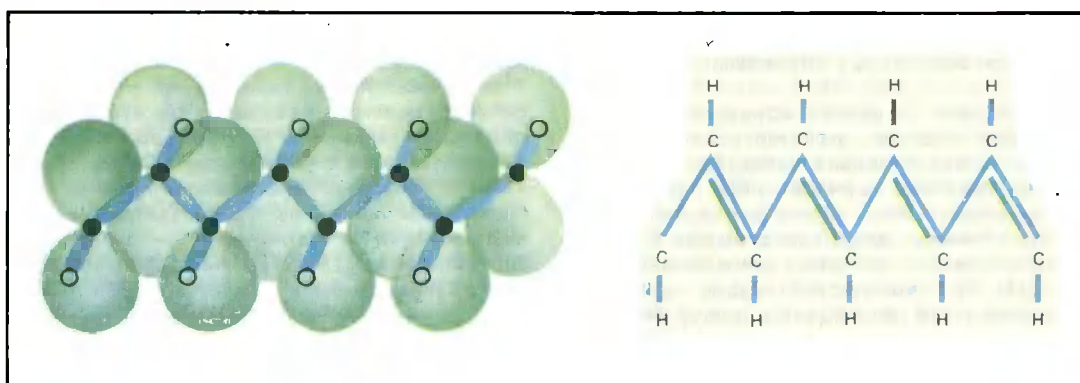
⁷ У читателя, привыкшего к обычным формулам химических соединений (типа H_2O , NaCl и т. п.), эти обозначения наверняка вызовут удивление. Действительно, они не связаны непосредственно со структурными формулами самих органических молекул, с которыми читатель познакомится ниже, а главные латинские буквы в аббревиатурах здесь вовсе не обозначают те или иные химические элементы. Эти аббревиатуры представляют собой просто-напросто сокращенную форму латинского написания названий веществ.



Образование химических связей в углеводородах. Вверху слева направо — распределение электронной плотности для s -, p_x -, p_y - и p_z -орбиталей атома углерода (черный кружок). В первом состоянии это распределение изотропно, а в остальных — напоминает восьмерки, вытянутые вдоль одной из осей (X , Y или Z) прямоугольной системы координат.

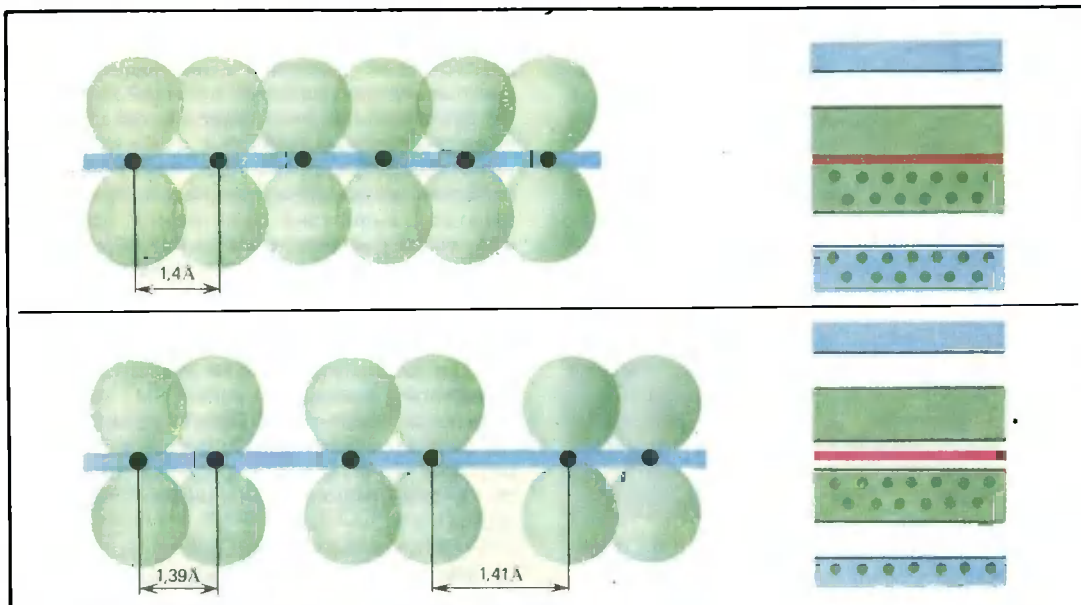
Внизу слева — связи атома углерода в молекулах углеводородов; в центре — их располо-

жение в молекуле этилена (C_2H_4), где два атома углерода связаны с четырьмя атомами водорода (светлые кружки) σ -орбиталями (обозначены синим), лежащими в одной плоскости, а их p -орбитали (зеленые «восьмерки») направлены перпендикулярно этой плоскости и симметричны относительно нее; справа — структурная формула молекулы этилена.



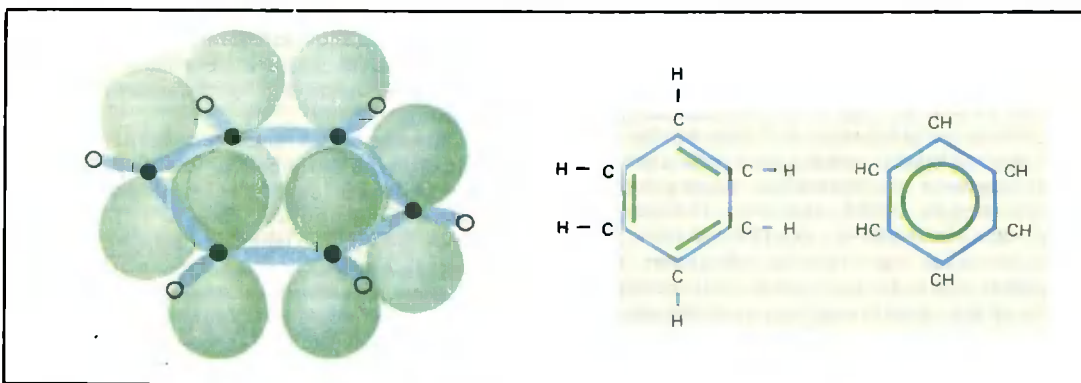
Распределение электронной плотности (слева) и структурная формула (справа) молекулы полиацетилена $[CH]_n$ — простейшей квазидиомерной структуры. Каждый атом углерода (черный кружок) соединен двумя σ -связями (обозначены синим) с соседними атомами углерода и одной такой же связью — с ближайшим атомом водорода (светлый кружок). Как и в молекуле этилена, все

атомы и σ -орбитали лежат в одной плоскости, а углы между σ -связями составляют примерно 120° . p -Орбитали (зеленые «восьмерки»), симметричные относительно этой плоскости, перекрываются между собой, так что p -электроны уже не локализованы на определенных атомах углерода, а могут двигаться по «цепочке» от одного атома к другому.



Распределение p -орбиталей в гипотетической цепочке типа полиацетилена (вверху слева) с одинаковым расстоянием между атомами углерода и в реальной молекуле полиацетилена (внизу слева). Обе структуры показаны «сбоку», поэтому σ -связи (обозначены синим) сливаются в одну прямую. В идеальной цепочке из-за перекрытия p -орбиталей (зеленые «восьмерки») электроны могут свободно переходить от одного атома к другому. В соответствующем энергетическом спектре (справа) зона p -электронов (обозначена зеленым) за-

полнена наполовину — уровень Ферми E_F , как и в металлах, делит ее надвое. В реальной молекуле атомы углерода как бы группируются парами, так что расстояния между ними неодинаковы. Поэтому p -орбитали у «раздвинувшихся» атомов перекрываются слабее, чем у сближенных. Из-за этого в энергетическом спектре зона p -электронов расщепляется на две отдельные подзоны, разделенные запрещенной щелью, куда как раз и попадает, как в диэлектриках, уровень Ферми. В итоге первая структура обладает свойствами проводника, а вторая — диэлектрика.



Распределение электронной плотности (слева) и две эквивалентные формы записи структурной формулы молекулы бензола с кольцом из шести атомов углерода. Эти атомы (черные кружки) связаны между собой и с атомами водорода (светлые кружки) σ -связями (обозначены синим). Сопреженные связи (зеленые «восьмерки») обра-

зуют облако, симметричное относительно плоскости, в которой расположены все атомы. Такие бензольные кольца входят в состав более сложных органических молекул.

кие молекулы содержат кольца с сопряженными связями, или, другими словами, «обобществленные» π -электроны, распределенные по всей молекуле. Орбитали π -электронов окружают молекулу с двух сторон напоподобие шубы и позволяют им двигаться по всей молекуле.

В кристалле, как отмечалось, плоские молекулы TCNQ и Qn упакованы в стопки, в которых электронные облака соседних молекул перекрываются, так что электроны получают возможность перемещаться не только внутри молекулы, но и вдоль всей стопки. Между разными стопками подобное перекрытие гораздо слабее, и движение электронов в направлениях, перпендикулярных стопкам, затруднено. Если бы кристалл был построен только из молекул TCNQ, то он обладал бы свойствами диэлектрика, иначе говоря, перенос заряда в нем отсутствовал бы из-за отсутствия частично заполненных электронных энергетических зон. В кристаллах же типа Qn (TCNQ)₂ электроны со стопок молекул Qn частично переходят на стопки молекул TCNQ. В результате и в тех, и в других молекулах зоны π -электронов оказываются заполненными лишь отчасти. В этом случае π -электроны приобретают способность двигаться под действием поля и кристалл напоминает обычный металл с той, правда, разницей, что ток в нем может идти преимущественно в одном направлении — вдоль стопок.

Как показали исследования, удельная проводимость таких кристаллов при комнатной температуре достаточно велика, около $2 \cdot 10^4 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ (для сравнения, у чистой меди при этой же температуре она составляет $6 \cdot 10^7 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$, у кремния — $10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$). При охлаждении от 300 до 200 К она возрастала, как и в обычных металлах. Но при более низких температурах наблюдалось быстрое ее уменьшение с охлаждением, а при гелиевых температурах проводимость становилась ничтожной⁸. Основное состояние электронной системы кристаллов обладало ярко выраженными диэлектрическими свойствами вопреки предсказаниям простейшей модели невзаимодействующих частиц в частично заполненной зоне π -электронов.

Впрочем, вскоре выяснилось, в чем дело. Оказалось, что кристаллы с почти одномерным движением (их называют квазиодномерными) ведут себя при охлаждении

совсем не так, как обычные металлы с практически изотропно движущимися электронами. Дефекты в квазиодномерных кристаллах сказываются на этом движении гораздо сильнее, и электроны оказываются «привязанными» к тем областям кристаллической решетки, где на них действует более сильный потенциал ионов. В результате диффузия электронов при низких температурах становится невозможной — дефекты как бы локализуют их. Между тем исследованным кристаллам присуща нерегулярность потенциала ионов в силу особенностей их структуры: катионы Qn асимметричны, и ориентация заряженной азотной группы NH по отношению к цепочкам TCNQ произвольна. Именно этот беспорядок и приводил к тому, что кристалл Qn (TCNQ)₂ оказывался диэлектриком при низких температурах.

Это первое препятствие на пути к органическому сверхпроводнику удалось быстро преодолеть. Катиону просто-напросто недоставало симметрии, и в 1970 г. американский химик Ф. Вудл синтезировал необходимую симметричную молекулу TTF, а в 1973 г. были получены кристаллы TTF — TCNQ. Они обладали более высокой проводимостью, чем соли с асимметричными катионами. Движение электронов в этих кристаллах отличалось очень сильной анизотропией: проводимость вдоль цепочек примерно в 500 раз превышала проводимость в перпендикулярных направлениях. С понижением температуры от комнатной до 60 К проводимость возрастала примерно в десять раз, но ниже 60 К наблюдался резкий спад проводимости, который свидетельствовал, что опять происходит переход в диэлектрическое состояние.

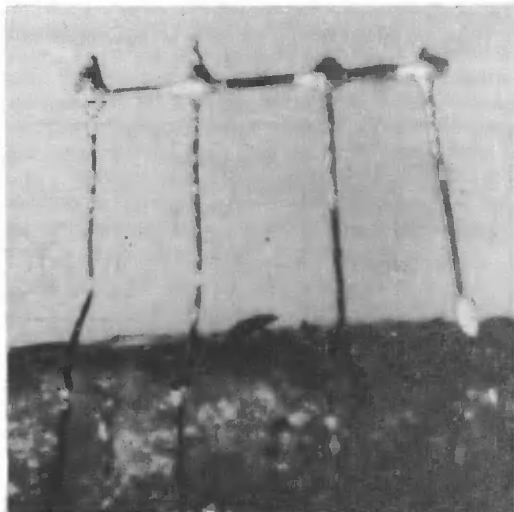
Интенсивные физические исследования позволили установить, что и на этот раз такой переход связан с одномерностью движения электронов. Еще в 1954 г. английский физик Р. Пайерлс предсказал, что при охлаждении система электронов с одномерным движением, сильно искажая расположение ионов в кристаллической решетке, «делает» кристалл диэлектриком (при этом полная энергия электронов и ионов понижается, т. е. такой переход энергетически выгоден). К этому долгое время относились как к чистой абстракцией, поскольку известные в то время металлы были трехмерными по характеру движения электронов. Однако в 1974 г. выяснилось, что в соединении TTF — TCNQ происходит именно пайерлсовский переход — рентге-

⁸ Schegolev I. F. — Phys. Stat. Sol. (a), 1972, v. 12, p. 9.

новский анализ обнаружил появление как раз тех искажений решетки, которые характерны для этого эффекта⁹. После всестороннего исследования этого перехода стало понятно, что одномерные системы неблагоприятны для создания сверхпроводника — нужны системы, где движение электронов не ограничено одним направлением.

Выход из «одномерного тупика» состоял в увеличении перекрытия электронных волновых функций молекул соседних стопок, с тем чтобы движение электронов стало по меньшей мере двумерным. Однако задача эта была не из легких, ибо в плоских молекулах — основе проводящих соединений — π -электроны заметно «перекрывались» только вдоль цепочки.

Указанную трудность преодолели в 1976 г., когда в ИХФ АН СССР М. Л. Хидекею и Э. Б. Ягубскому удалось синтезировать соли $(TSeT)_2Cl$ и $(TSeT)_2Br$, в которых молекула TSeT (тетраселенотетрацен) играет роль катиона. Она содержит четыре атома Se, π -электроны которых участвуют в образовании электронного «облака» молекулы. Важно, что облако этих электронов в атоме Se простирается на значительное расстояние от центра, а молекулы TSeT, относящиеся к соседним стопкам, «упакованы» в кристалле так, что атомы Se из разных молекул расположены довольно близко от одного и того же иона Cl. Такое соседство облегчает электронам переход с одной стопки на другие, причем ионы Cl^- служат своеобразными мостиками. В результате атомы Se как бы связывают между собой соседние стопки TSeT, движение электронов становится «не таким одномерным», пайерлсовский переход в $(TSeT)_2Cl$ происходит при более низкой температуре (24 K), чем в TTF — TCNQ, и приводит не к диэлектрическому, а к полуметаллическому состоянию¹⁰. При небольшом



Проводящие органические кристаллы $(TSeT)_2Cl$, синтезированные в Институте химической физики АН СССР. Кристалл имеет форму иглы толщиной 0,1 мм и длиной 3 мм. К нему специальной электропроводной пастой приклеены четыре электрода: по двум крайним пропускают заданный ток, а на средних — измеряют разность потенциалов и, тем самым, сопротивление.

давлении (около 4,5 кбар) этот переход вообще подавляется, и соединение сохраняет свойства металла. Его сопротивление монотонно падает при охлаждении до сверхнизких температур, однако сверхпроводимость отсутствует вплоть до 0,1 K.

После синтеза этого первого органического проводника поиски новых соединений повелись еще интенсивнее — становилось все очевиднее, что получение органических сверхпроводников не за горами.

Первый успех в 1980 г. выпал на долю датского химика К. Бекгарда. Он синтезировал плоскую молекулу TMTSF (тетраметилтетраселенофульвален), которая отличалась от молекулы TTF заменой атома серы атомом селена и добавлением четырех углеродных групп на концах. Как и TTF, эта молекула служит хорошим «поставщиком» электронов (донором), и в качестве акцепторов Бекгард использовал анионы PF_6^- , ClO_4^- , ReO_4^- и ряд других.

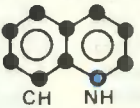
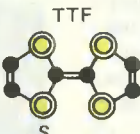
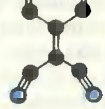
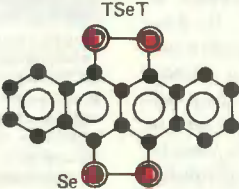
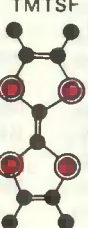
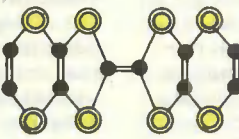
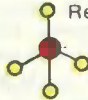
Электронные свойства синтезированных Бекгардом кристаллов типа $(TMTSF)_2X$, где X — акцептор, подробно изучались французскими физиками. Выяснилось, например, что в соли $(TMTSF)_2PF_6$ проводимость неуклонно возрастает при снижении температуры и только при 12 K происходит переход в диэлектрическое состоя-

⁹ Аналогична природа и отмеченного выше чередования длин связей в молекуле полиацетилена — оно также вызвано одномерностью движения π -электронов. Причем здесь искажения в расположении ионов настолько сильны, что не устраняются даже при комнатной температуре, и основное состояние молекулы оказывается «диэлектрическим». Подробнее об этом см.: Булаевский Л. Н. — Усп. физ. наук, 1975, т. 115, с. 263; Буздин А. И., Булаевский Л. Н. Там же, 1984, т. 144, с. 415.

¹⁰ Полуметаллами называют проводники с малым числом носителей тока. На языке зонной теории это соответствует тому, что в зоне проводимости полуметалла находится мало электронов, т. е. уровень Ферми близок к краю зоны.

Таблица

Основные достижения на пути к органическим сверхпроводникам

Обозначение соединения	Структура	Катион	Анион	Свойства при $T \rightarrow 0\text{K}$	Год синтеза
$\text{Qn}(\text{TCNQ})_2$	квазиодномерная	 Qn	 TCNQ	диэлектрик	1971
TTF-TCNQ		 TTF	 TCNQ		1973
$(\text{TSeT})_2\text{Cl}$	слоистая	 TSeT	 Cl	металл под давлением	1976
$(\text{TMTSF})_2\text{PF}_6$	слоистая с анизотропией	 TMTSF	 PF ₆	сверхпроводник под давлением $T_c = 0,9\text{K}$	1980
$(\text{TMTSF})_2\text{ClO}_4$			 ClO ₄	сверхпроводник при нормальном давлении, $T_c = 1,3\text{K}$	1982
$(\text{BEDT-TTF})_2\text{ReO}_4$	слоистая	 BEDT-TTF	 ReO ₄	сверхпроводник под давлением, $T_c = 2\text{K}$	1983
$(\text{BEDT-TTF})_2\text{I}_3$			 I ₃	сверхпроводник при нормальном давлении, $T_c = 8\text{K}$	1985

ние. Однако вскоре обнаружилось, что дополнительное давление (сближающее стопки) ослабляет такой переход. Уже давления в 11 кбар достаточно, чтобы полностью устранить этот переход и сделать кристаллы сверхпроводящими ниже критической температуры $T_c = 0,9\text{K}$. Вскоре Бекгард получил соль $(\text{TMTSF})_2\text{ClO}_4$, которая переходила в сверхпроводящее состояние при $T_c = 1,2\text{K}$ и без повышения давления.

В солях $(\text{TMTSF})_2\text{X}$ замечательна слоистая структура, образованная чередованием катионов TMTSF и анионов. Важно, что внутри слоя TMTSF электронные облака в значительной мере перекрываются благодаря боковым атомам Se, входящим в каждую молекулу, связывающим между собой разные стопки и делающим движение электронов «достаточно двумерным».

Проводимость в слое TMTSF в разных направлениях различается почти в 100 раз,

т. е. система электронов проводимости еще не совсем «забывает» о своей одномерности. Но переход в диэлектрическое состояние все же оказывается ослабленным, и сверхпроводящий переход в состоянии конкурировать с ним. Правда, в этой конкуренции в слоях $(\text{TMTSF})_2\text{X}$ с любыми X, кроме ClO_4 , при атмосферном давлении побеждает диэлектрический переход, но приложение дополнительного давления способствует переходу в сверхпроводящее состояние.

Итак, соли, синтезированные Бекгардом, стали первыми органическими сверхпроводниками, и этот успех стимулировал во всем мире интенсивные поиски других материалов с такими же свойствами.

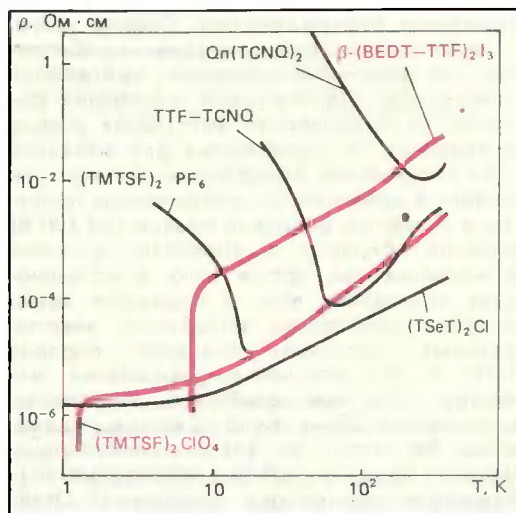
Следующее крупное достижение на этом пути принадлежит сотрудникам Отделения ИХФ АН СССР в Черноголовке. В 1983—1984 гг. Э. Б. Ягубский синтезировал серию новых так называемых ион-радикальных солей, среди которых оказались сверхпроводники с температурой перехода до 8 К (при нормальном давлении)¹¹. На сегодняшний день они — рекордсмены среди органических сверхпроводников. Все эти соли являются йодидами довольно сложного соединения BEDT — TTF (бис-этилендитио-тетратиофульвалена). Они отличаются между собой содержанием йода и строением кристаллической решетки.

В молекуле BEDT — TTF нет так хорошо «зарекомендовавших» себя атомов селена. Зато в ней присутствуют целых 8 атомов серы. Их роль (как и у Se в молекуле TMTSF) — связывать между собой молекулы из разных стопок. В сочетании с «испорченными» концами, на которых «торчат» группы CH_2 , способствующие сближению молекулярных слоев, это оказывается достаточным, чтобы почти полностью преодолеть одномерность электронной системы. В результате все отмеченные соединения представляют собой, по-существу, уже не квазиодномерные, а квазидвумерные металлы. Их кристаллы состоят не из стопок, а из целых слоев молекул с примерно одинаковой и довольно высокой проводимостью во всех направлениях в слое. Плохая проводимость остается лишь в направлении поперек слоев.

Таким образом, в ходе синтеза органических сверхпроводников произошла

удивительная метаморфоза — начав с одномерной структуры, придуманной В. Литтлом, химики пришли к слоистой структуре, более сходной с той, которую предложил В. Л. Гинзбург. Часть этой структуры — проводящие слои — они создали из органических молекул (см. табл.).

В чем же специфика сверхпроводимости в органических соединениях и каковы дальнейшие перспективы исследований в этой области?



Зависимость удельного сопротивления ρ от температуры T для ряда органических проводников (черные кривые) и сверхпроводников (цветные кривые). Из них $\text{Qn}(\text{TCNQ})_2$, TTF — TCNQ и $(\text{TMTSF})_2\text{PF}_6$ при охлаждении превращаются в диэлектрики, $(\text{TSeT})_2\text{Cl}$ остается проводящим при любых температурах, а $(\text{TMTSF})_2\text{ClO}_4$ и $(\text{BEDT} - \text{TTF})_2\text{I}_3$ переходят в сверхпроводящее состояние.

ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ ФИНИШ: КУДА ДВИГАТЬСЯ ДАЛЬШЕ

Как мы видим, по порядку величины критические температуры органических сверхпроводников пока не отличаются от температур перехода в сверхпроводящее состояние для неорганических соединений. Что же качественно нового для сверхпроводимости принес синтез органических сверхпроводников? Для ответа на этот вопрос необходимо понять механизм притяжения электронов в молекулярных слоях TMTSF и BEDT — TTF. Пока нет никаких экспериментальных фактов, которые указы-

¹¹ См., напр.: Ягубский Э. Б., Щеголев И. Ф., Лаухин В. Н. и др. — Письма в ЖЭТФ, 1984, т. 39, с. 12.

вали бы на эффективность экситонного механизма сверхпроводимости в органических соединениях. Более того, как показывает углубленное теоретическое рассмотрение, в молекулярных системах с пространственным разделением электронов проводимости и поляризующихся электронных групп такой механизм, видимо, менее эффективен, чем обычный фононный. Грубо говоря, ионы находятся на пути электронов, а поляризующиеся группы — сбоку, и взаимодействие электронов с фононами оказывается сильнее, чем с электронными возбуждениями. Скорее всего, в органических сверхпроводниках работает тот же фононный механизм притяжения электронов. Однако сами колебания решетки в органических кристаллах сильно отличаются от характерных для металлов и их соединений. Колебания молекул как целого в органических соединениях присутствуют в основном довольно низкие (до 100 К) энергии, близкие к энергиям фононов в металлах. Но, кроме того, в органических кристаллах есть и огромное число внутримолекулярных колебаний, энергии которых достигают значений порядка 1000 К. Из оптических измерений известно, что взаимодействие электронов с фононами обеих групп примерно одинаково. Не могут ли внутримолекулярные фононы заменить собой электронные возбуждения экситонного механизма? Ответить на этот вопрос удастся лишь после того, как будет выяснена роль внутримолекулярных колебаний в механизме притяжения электронов в существующих органических сверхпроводниках.

Независимо от теоретических соображений, синтез новых проводящих систем (как неорганических, так и органических) остается, по-видимому, единственным реальным путем получения сверхпроводников с более высокими значениями критической температуры. Разнообразие органических соединений и возможность целенаправленно менять их структуру в желаемом направлении дают им на этом пути определенное преимущество перед неорганическими кристаллами. Кроме того, умение химиков синтезировать соединения с нужными свойствами день ото дня впечатляет все сильнее и позволяет строить весьма оптимистические прогнозы.

Даже если не удастся получить значения T_c , заметно превосходящие температуры переходов в обычных сверхпроводниках, органические сверхпроводники с T_c порядка 10—15 К могут оказаться более выгодными для технических приложений, чем

известные сейчас неорганические соединения. Они наверняка будут дешевле и проще в изготовлении. Кроме того, уже сейчас органические соединения сохраняют сверхпроводящие свойства в более сильных магнитных полях, чем неорганические сверхпроводники с теми же значениями T_c .

Сегодня развивается в основном «кристаллическое направление» синтеза органических сверхпроводников. Однако специалисты уже задумываются над тем, нельзя ли внедрить кристаллики органических сверхпроводников в обычные полимеры, например полиэтилен, для получения сверхпроводящих полимерных материалов. Пока неизвестно, возможна ли сверхпроводимость в полимерах, построенных из сложных органических звеньев, в том числе биополимерах. Но если такие сверхпроводники удастся синтезировать, то на следующем этапе может стать реальностью самовоспроизводство (размножение) сверхпроводящей биомассы, подобно тому как это имеет место у обычных живых организмов. Интересно, что В. Литтл с сотрудниками еще в 1965 г. предпринял попытку отбора бактерий по признаку высокой проводимости или сверхпроводимости. Результат, правда, оказался отрицательным, т. е. в исходной колонии бактерий таких признаков не было. Однако, думается, в будущем воплотить сверхпроводимость в живой материи уже не покажется столь фантастичным, как еще совсем недавно.

Преемственность в развитии сознания

Ф. Т. Михайлов



Феликс Трофимович Михайлов, кандидат философских наук, старший научный сотрудник Института философии АН СССР. Специалист в области возрастной и педагогической психологии, философских проблем сознания. Автор книг: *За порогом сознания*, М., 1962; *Загадка человеческого «Я»*. Изд. 2-е. М., 1976.

Каждый человек уникален, каждый заключает в себе неповторимый внутренний мир, свое «Я», и это несмотря на все, подчас разительное, сходство с отцом или матерью, бабушкой или дедушкой. Сознание и самосознание тех, на кого мы похожи, остается «в них», не становится нашим; а наше само-чувствие, наше самосознание принадлежит нам и никому больше. Но получаем же мы от предков в готовом виде (наследуем) особенности строения тела, цвет глаз, волос, отдельные черты лица, походку... Так может быть, вместе с этим приобретает человек свою способность понимания, осмысленного чувствования?

БИОЛОГИЧЕСКИЙ И КУЛЬТУРНО-ИСТОРИЧЕСКИЙ ВЗГЛЯДЫ НА ПРЕЕМСТВЕННОСТЬ СОЗНАНИЯ

Конечно же, свой человеческий мозг мы получаем по наследству от человеческих предков, а вместе с ним — и его способность направлять нашу жизненную активность в русло человеческого общения и деятельности. Но ведь **со-знание** это, кратко говоря, отношение человека к внешнему миру **со знанием** объективных возможностей этого мира, а знание приобретает в опыте, в учении, т. е. соматически не наследуется. Поэтому и говорит-

ся, что мыслит (приобретает знания и оперирует ими) не мозг, а человек с помощью мозга¹.

Таким образом, нам с самого начала предстоит развести два, на первый взгляд, близких по смыслу вопроса. Первый: наследуются ли специфически человеческие качества в особенной форме определенного генотипа? Только какой же это вопрос? Современная биология давно на него ответила. Особенно забавно прозвучит он, если его всерьез задать в наш век — век генетики. Второй вопрос следует сформулировать весьма корректно, так как он — о преемственности поколений, не только прижизненно овладевающих знаниями, умениями, навыками, но и формирующими

¹ Так, авторы интересной книги «Как мы познаем» (М., 1984) М. и И. Голдстейны доказывают, что даже «...зрительное восприятие, которое, как считается, дает нам факты наиболее непосредственно, — результат обучения, а не способность, приобретаемая автоматически. Мы видим с помощью мозга...» (с. 40. Подчеркнуто мной. — Ф. М.). Перед этим они цитируют Дж. З. Янга, показавшего, как прозревший слепорожденный очень долго — годы — учится видеть: «Его мозг не был обучен правилам видения. Мы не осознаем, что такие правила вообще существуют, и считаем, что видим, как говорится, «естественно». Однако на самом деле мы в детстве обучились целому ряду таких правил видения» (с. 39).

друг у друга самую главную, отличительную способность людей — способность осознавать окружающий мир и самих себя, в этом мире живущих.

Но и первый вопрос иметь в виду все же придется: наш организм (наш мозг, в частности) — эта наследуемая каждым из нас и индивидуализированная в генотипе органическая программа человеческого способа или образа жизни — вряд ли есть нечто совсем уж постороннее для интересующих нас в первую очередь «механизмов» преемственности культуры мышления. Ведь кто-то легко, «как губка», впитывает знания, умело применяя их в деле. Другому они не сразу даются. «Разные способности», — говорят в таких случаях. И может быть поэтому не только в обыденном сознании весьма распространено мнение, что способность узнавать новое, понимать и постигать мир — наследуемая способность любого человека; что она именно наследуется, чем и объясняется непрерывность собственно человеческого способа жизни, преемственность общечеловеческой культуры. Самосознание, уникальность нашего «Я» — это, мол, проявление в процессе онтогенеза наследованной способности быть не просто человеком, но человеком разумным, результат случайного и непредсказуемого переплетения наследственных и внешних факторов, развивающих врожденную способность к разумности до уровня знания окружающего мира и самого себя. Поэтому для тех, кто видит в основе способности сознания лишь функции некоторой материальной структуры (мозга, ЭВМ будущего и т. д.) по приему, кодированию, переработке, анализу, синтезу, обобщению, раскодированию и передаче другим внешней информации, кто в «диалоге» человека с ЭВМ видит взаимодействие систем, обладающих родственными способностями, вопрос о наследовании сознания — вопрос заведомо риторический. Сознание — функция мозга, а мозг унаследован нами от наших предков вместе со всеми своими функциями. Конкретные же знания, умения и навыки осмысленной целесообразной жизни человек приобретает, овладевая всем тем, что к моменту его рождения человечество накопило. Здесь он тоже «наследует» своим предкам и пользуется их «наследством» благодаря врожденной способности мышления, понимания, осознания.

Итак, проблема преемственности культуры мышления оказывается тесно связанной с тем, в каком из двух основных

ракурсов рассматривается сознание: как **функция мозга** по получению знаний и пользования ими, либо как **отношение к миру** со знанием его возможностей, как внутренний мир человека, его творческое «Я», самосознание. И коль скоро исследовательские усилия во многих областях естествознания и человековедения ориентированы сегодня как раз на поиск прямой **функциональной** зависимости сознания от наследуемой телесной организации индивидов (мозга — прежде всего), то в этой статье и ставится цель посмотреть на природу сознания и самосознания под углом зрения их **приобретения**. Этот, третий, ракурс проблемы интересен еще и потому, что не позволяет абстрактно (т. е. односторонне, с разных, взаимосвязанных позиций) описывать способность сознания: в каком смысле человек «наследует» сознание: генетически — как функцию мозга, социально — как овладение наследием предыдущих поколений, «биосоциально» — т. е. и так, и так? Ведь и в школе (и в средней, и в высшей) учат вначале, что сознание — функция мозга, и про язык, и про ЭВМ, про то, что теория информации и кибернетика продвинули нас в понимании функций мозга, и лишь потом учащиеся узнают про общественное сознание, про объективную логику развития политической идеологии и правосознания, науки и искусства, морали и религии, про то, как каждый индивид приобщается к сокровищнице духовной культуры и как его собственное сознание зависит от того, насколько и он освоил ее содержание. Но что же такое сознание, как «просыпается» оно в индивиде — по-разному объясняется в различных областях человековедения, о чем с обоснованной тревогой и более чем своевременно и прямо заявили авторы весьма актуальной книги «Духовное производство»².

ПРЕДМЕТНО-ДЕЯТЕЛЬНОСТНАЯ ШКОЛА В ПСИХОЛОГИИ

Правда, есть такое направление психологических исследований, в котором в качестве основополагающего тезиса принимается единство общественного и индивидуального осознанного бытия людей. Основной вклад в развитие этого направления внесли Л. С. Выготский, С. Л. Рубинштейн, А. Н. Леонтьев, их соратники и ученики.

² См.: Духовное производство. Социально-философский аспект проблемы духовной деятельности. М., 1981, с. 21—52.

Теоретически и методологически оно ориентируется на материалистическое понимание истории, развитое К. Марксом. Именно поэтому потребности и способности личности понимаются в нем как общественно-исторически обусловленные, а цели и мотивы жизненной активности человека — как предметные и социальные.

Представители этого ведущего направления в советской психологии исходят из того, что фундаментальные психические образования, лежащие затем в основе ориентировочной, поисковой, сознательной жизнедеятельности человека, формируются каждый раз заново у каждого индивида. Но не так, как, скажем, у каждого организма формируются по норме наследственности органы взрослой особи, отсутствующие у зародыша. В том-то все и дело, что для развивающегося «нового» организма эти органы, наследственно «предполагающие» необходимые для видоспецифической жизнедеятельности предметы среды, — не новы. Они — «ступени» его собственного развития, те самые необходимые ему, достраивающие его до целостности органы, которые, по словам К. Маркса, отличают развитие любой органической системы от изменений, происходящих в системах механических под воздействием внешних сил³. Психологи же в данном случае ведут речь о другом: «функциональные органы» мозга (по терминологии выдающегося физиолога А. А. Ухтомского, принятой «на вооружение» и А. Н. Леонтьевым⁴) не образуются спонтанно при становлении и развитии органического союза (единства) *Homo sapiens* с естественной средой. Только встреча с «умными вещами», целесообразно произведенными предшествующими поколениями людей, как с предметами своей органической жизнедеятельности, только совместная, с другими людьми разделенная предметная деятельность образует «функциональные органы» человеческого мозга.

На первый взгляд может показаться, что здесь нет ничего нового по сравнению с биологическим соотношением наследования и формирования в онтогенезе. И у любого другого живого организма органы (их структура и функции в неразрывном единстве) не формируются по наследственной «программе» автоматически. Сама эта «программа», — только «гнездо возможностей». Реализация же некоторых из них

и структурно-функциональные характеристики реализованных обусловлены сложившимися условиями онтогенеза. В том числе: наличной предметностью факторов среды, «общением» с другими особями и т. п. Но как бы именно биологи отнеслись к тому, что при реализации возможностей наследственной «программы» одна особь определенной популяции при определенных условиях жизнедеятельности и «общения» жила бы и развивалась в пределах видовой наследственной нормы, а другая особь той же популяции при других условиях развития и при «общении» с представителями другой биологической «культуры» органично приняла бы на себя все определения, характерные для животных другого вида, другой биологической культуры? Или же при всех возможностях наследственной «программы» стала бы обладательницей органов, не «предположенных» этой программой?.. Биологи, видимо, все же отвергли бы подобную гипотезу о «разных действительностях формообразования» при наличии тех возможностей, которые несет в себе видоспецифическая «программа» наследственности: то, что возможности формирования индивидов одной популяции ограничены видовой «программой» — это тоже биологически фундаментальное определение соотношения наследственности и формирования в онтогенезе. Однако самые широкие возможности, предоставляемые наследственной программой одного вида и самые уникальные условия онтогенеза его представителей никогда не приведут к «онтогенетическому видообразованию» — к переходу особи из одного вида в другой. А маленькая девочка (около 2 лет), покинутая случайно соплеменниками-гуайакиллами (Парагвай) при появлении европейцев, воспитывалась матерью французского этнографа Веллара и в 20 лет ничем не отличалась от интеллигентных европейских женщин. Она занималась этнографией, говорила на французском, испанском и португальском языках⁵.

Конечно же, и гуайакилы, и европейцы, и представители всех рас на Земле — «особи» одного вида. Но именно такого, который живет за счет целесообразного производства и воспроизводства необхо-

³ Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 46, ч. 1, с. 229.

⁴ Ухтомский А. А. Собр. соч., т. 1. Л., 1960, с. 299.

⁵ Леонтьев А. Н. Проблемы развития психики. М., 1972, с. 407. Весьма рекомендую ознакомиться по крайней мере с двумя разделами этой книги, отмеченной Ленинской премией: «Об историческом подходе в изучении психики человека», «Человек и культура».

димых его индивидам органов жизнедеятельности: орудий и предметов труда и общения, языка и речи — всех средств и предметов человеческого бытия, без овладения которыми человеку просто не нужны, просто не понадобятся ни мозг, ни руки, ни все прочие органы. Все они — абсолютной необходимы для осуществления человеческих функций, для выживания в качестве человека, но столь же они и недостаточны. Этот вывод справедлив и для любого другого чисто биологического основания соотношения наследственности и формирования в онтогенезе. И для советских психологов именно качественное отличие **человеческого** типа жизни и развития от **животного** стало исходным пунктом экспериментальной и теоретической работы при исследовании психофизиологических закономерностей человеческого онтогенеза⁶.

ОТ «ЕСТЕСТВЕННЫХ НУЖД» К ПЕРВЫМ ПОТРЕБНОСТЯМ

Как же происходит онтогенетическое развитие «функциональных органов» мозга, обеспечивающих формирование высших психических функций? Родившийся ребенок испытывает нужду в кислороде воздуха, в пище, в тепле, в уходе и в уюте. Только воздух и (на первых порах) материнское молоко «предположены» предметно (т. е. как таковые, хотя человечество научилось «имитировать» не только молоко матери, но и сердечные клапаны!) наследственной «программой» его организма: легкие и желудок ждут именно их, их и требуют. Но вот тепло, уют, ласка как необходимые условия сна, роста, развития и в самые первые недели и месяцы жизни данной «программой» **предметно** не определены. Нужда в них есть, но это, по А. Н. Леонтьеву, еще не потребность, так как созданные людьми «умные вещи» (разные — в разных культурах, в разное время: тепло костра и грубо освежающей шкуры, камина, электроприборов и т. п.) не сразу становятся специфическими для соответствующей нужды предметами. Нужда ребенка в тепле и уюте может быть удовлетворена самыми разнообразными средствами. Однако все дальнейшие этапы его возрастного развития уже твердо подчиняются особому закону: первичные нужды ребенка превращаются в собственно человеческие потребности — в жизненные требования вполне определенных предметов, целенаправленно про-

изведенных предшествующими поколениями.

Здесь очень важно отметить, что для наших ведущих психологов концепция К. Маркса об историческом развитии человека не была некоторой другой наукой. Скажем, наукой об обществе, столь же интересной, как и астрофизика — наука о звездах, но непосредственно к профессиональным заботам психологов также прямо не относящейся. Напротив, они отлично осознавали, что определение К. Маркса истоков и сущности того, что, по его словам, есть производимый индивидами вместе со средствами к жизни «... способ деятельности данных индивидов, определенный вид их жизнедеятельности, их определенный образ жизни»⁷, имеет самое прямое отношение к фундаментальнейшим проблемам психологии. Ведь весь «мир» психического образуется, формируется и развивается вместе с определенным образом жизни, порождается им, опосредствует (мотивирует) его. Поэтому они и старались экспериментально и теоретически конкретизировать слова К. Маркса о том, «... что сама удовлетворенная первая потребность (нужда — в терминологии А. Н. Леонтьева.— Ф. М.), действие удовлетворения и уже приобретенное орудие удовлетворения ведут к новым потребностям, и это порождение новых потребностей является первым историческим актом»⁸.

Человек, действительно, такое существо, что порождение новых потребностей для него оборачивается первым актом в истории всего человечества (филогенеза, что в данном случае означает: антропогенеза и каждого последующего шага истории) и первым «шагом» его личной биографии (онтогенеза, что в данном случае означает: личностного развития индивидuality). Именно этот факт имел в виду А. Н. Леонтьев, когда разделил «естественные нужды» младенца и его же первые потребности. Действие удовлетворения естественной нужды ребенка, уже приобретенное им с помощью близких взрослых «орудие» удовлетворения и сами близкие взрослые, чувственно-предметно раскрывающие ему общезначимый способ его применения, вместе порождают потребность — новую потребность. Таков, с точки зрения психологов, и первый акт его собственно человеческой биографии, начало формирования человеческого сознания.

⁶ Леонтьев А. Н. Цит. соч., с. 423.

⁷ Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 3, с. 19.

⁸ Там же, с. 27.

ЧУДО ТВОРЧЕСКОГО ВОООБРАЖЕНИЯ

Сейчас подошло время сказать, что способность сознания — это не только способность к освоению «ритуалов» общения и не только (чуть ниже мы покажем, что и не столько) способность относиться к миру с уже имеющимися в общественной копилке знания объективных возможностей предметов человеческой жизнедеятельности и созерцания. У человека существует еще и способность к созиданию, к открытиям. И так как нам всем (не очень, правда, давно, но зато точно) стало известно, что даже для таких открытий всегда и во всех случаях необходимо изобрести вначале некоторые новые орудия (или же придумать новые способы употребления старых), такие, скажем, как колесо, рычаг, синхрофазотрон, космический корабль и т. п., то и в само определение способности осознать мир и себя в нем мы вынуждены включить способность к продуктивному, творческому воображению⁹.

Но можно ли унаследовать от родителей способность видеть то, чего еще нет — способность продуктивного, творческого воображения? Да, если эта способность — особенность исключительно психофизиологической организации. Можно ли, с другой стороны, приобрести эту способность при овладении миром культуры? Да, если у самих предметов (орудий, средств) культуры и принятых в обществе способах их использования, которыми овладевает человек в онтогенезе, есть свойство воспитывать такую способность. Только ведь и то, и другое как раз и зададут человеку некоторый готовый «механизм» перекомбинирования наличных впечатлений, знаний, умений и навыков, лишая его тем самым главного условия творчества: свободы от уже существующих приемов и способов. Место творческого вообра-

жения будет прочно занято внутренними или внешними схемами предзаданной комбинаторики.

Так что эти два аспекта необходимы, но не достаточны, не отражают специфического места продуктивного воображения в сознательной жизни. Ведь и само воображение, и его продуктивность (способность создавать новый образ) обязаны своим появлением в арсенале человеческих способностей прижизненному общению людей, совместно и целенаправленно преобразующих условия и обстоятельства своей жизни.

Видимо, сказанное следует пояснить. Мы уже знаем, что глаза человека учатся видеть (вспомним знаменитые опыты И. М. Сеченова, показавшие роль «исследовательского» движения руки в освоении пространства органами зрения; вспомним и приведенные выше слова М. и И. Голдстейнов). Испытывая «сопротивление» внешних свойств предмета, глаза своим движением как бы строят для себя его образ, переводят объективные особенности предмета «во образ» — в субъективно переживаемый мир во-ображения. У животных движением органов чувств по внешнему предмету руководит наследственная «программа», определяющая его биологически значимые признаки. У человека же главную роль в тактике «воспринимающего» движения¹⁰ играет общезначимость объективных свойств предмета, раскрывающаяся для каждого из нас лишь в общении с другими людьми. Ребенок образ-овывает предмет, что-то значащий для других — для близких взрослых — и лишь тем самым выделяет его образ для себя¹¹.

Так, даже способность восприятия включает в себя некоторый продуктив-

⁹ Правда, в какой-то степени это было сделано уже за тысячелетия до нас. Платон, например, постоянно стремился довести до сведения сограждан, что только самостоятельно добытое, а не просто усвоенное знание определяет эту способность. В «Апологии Сократа» ее герой убежденно внушал собравшимся на суд афинянам, что мудры не те, кто много знают и умеют и поэтому считают себя мудрыми, но тот истинно мудр, кто зная границы своей мудрости, постоянно ищет новые средства и способы их расширения. Можно вспомнить и других мыслителей: настоящие философы во все времена связывали способность сознания со свободой воли, рефлексией и воображением.

¹⁰ Движения, образующего, конечно же, не объект сам по себе, а именно предмет осознанной жизнедеятельности, то, что человек выделяет в объекте, формируя его образ.

¹¹ Для пояснения используем в качестве хорошо работающей аналогии слова К. Маркса о языке: «...язык есть практическое, существующее и для других людей и лишь тем самым существующее так же и для меня самого, действительное сознание» (Маркс К., Энгельс Ф., Соч., т. 3, с. 29. Подчеркнуто мной.— Ф. М.). Известные эксперименты, проведенные в свое время под руководством нашего выдающегося психолога Б. М. Теплова, показали, что человек видит в предмете прежде всего общезначимые детали, формируя с их помощью функциональный (т. е. опять-таки имеющий всем понятное назначение) образ данного предмета. (См.: Теплов Б. М. Проблемы индивидуальных различий. М., 1961.)

ный акт. Но любое практическое — тем более теоретическое! — действие человека встречается с различными сторонами и свойствами предметов, на которые направлены наши действия. Нередко эти свойства не «согласованы» друг с другом, а то и прямо друг другу противоречат, друг друга исключают. Цель действия требует от человека так преобразовать эти «колючие», сопротивляющиеся его усилиям свойства, чтобы в новом (объективно пока еще предмету не присущем) образе предмета они согласовано и дружно способствовали достижению намеченной цели (решению задачи, выполнению плана, работе всей конструкции, частью которой является наш предмет и т. д.). Недаром же Аристотель говорил о душе как о способности человека видеть в природе то, чего в ней нет, но против чего она не возражает. Способность преобразовывать предмет для достижения своих субъективных целей в полном соответствии с его объективными возможностями и называется продуктивным воображением. Современные исследования творчества показали, что нельзя воспитать способность к творческому воображению, предлагая для освоения каноны «творческой деятельности», экстрагированные из нее «приемы» фантазии, освобожденные от содержания логические формы пытливой мысли. Недаром же мы употребляем понятия «озарение», «инсайт», «интуиция», чуть ли не «откровение», когда стараемся передать состояние эмоционального потрясения, вспышки продуктивного воображения, вдруг сотворившего то, что так безуспешно искал труженик творчества, перебирая варианты причин, рассчитывая их неизбежные следствия, подводя под «род» и определяя «видовые отличия». Состояние, когда любой предмет мысли и чувств вдруг предстает перед нами во всей своей самостоятельности, «сам» находя новые, простые, столь естественные для него формы, что прежде скрытая пластика, красота, истина не потребуют новых исканий и споров; он не мог быть иным — эврика! (Таков же, кстати говоря, и «механизм» саморазвития сновидений.)

Но как же просыпается в человеке его главная страсть души? Как эта страсть к продуктивному труду может быть передана другим людям?

Постараемся показать, что «просypаться» ей не надо (как не надо бы ее и «усыплять»), что она — всеобщее и важнейшее условие обретения человеком своей человеческой сущности. Ведь в отличие от животных, рождающихся на всю

жизнь волком, овцой или тюленем, человек каждый день своей жизни должен собственными усилиями растить в себе свои человеческие черты. И мы знаем, как быстро он их теряет (и не только в экстремальных условиях!), когда не находит сил воспроизводить их в себе и развивать. Возможно, именно таков общий результат антропогенеза. Само его начало в таком случае было не чем иным, как возникновением противоречия в жизнедеятельности популяций, предшествовавших *Homo sapiens*, выражавшегося в том, что биологическими средствами» (т. е. генетически, наследственно) нельзя было закрепить найденные формы биологической активности. Среди этих форм было и манипулирование предметами природы как своеобразными предорудиями. Что же могло сохранить, сделать необходимым именно постоянное использование предмета предтрудовых манипуляций вне ситуации, подсказывающей необходимость его применения?

Возможно, что просто иная функция предмета: не только «орудийная», но и... коммуникативная¹². Ее сохранение было обеспечено и наследственно (так как только в естественном, половозрастном распределении ролей сохраняет свое биологическое единство сообщество приматов), и функционально (так как «предмет», становясь коммуникативным «знаком», сам удерживает способ совместного действия с его помощью). Если говорить образно, то он — слово в «языке реальной жизни», орган не только действия, но и со-действия, что могло способствовать превращению устойчивой формы содействия в функциональный орган жизни каждой особи.

Отметим, дополнительно, один — и весьма немаловажный факт. Известно, что у высших животных генетически предполагается некоторый период развития детенышей, в течение которого их видоспецифические жизненные функции еще не имеют соответствующих развитых органов (достаточно развитых конечностей, мышечной системы и т. п.). Все это время роль неразвившихся органов выполняют взрослые особи: как правило, родители. Возмужание детеныша есть не что иное, как развитие и укрепление собственных органов, обеспечивающих выполнение ви-

¹² Эта идея в разных вариациях высказывалась специалистами разных областей знания: Л. С. Выготским, А. Н. Леонтьевым, Б. Ф. Поршневим, В. П. Алексеевым, К. Леви-Стросом, В. Тернером и др.

доспецифической «программы» жизни. Но у детей всех потомков той популяции (или тех популяций), которая ознаменовала собой начало антропогенеза, процесс взросления не приводит к формированию необходимых и достаточных для самостоятельного существования органов. Речь, естественно, не идет о наследуемой и человеком «программе» роста и развития физиологически необходимых ему органов. Но для человеческого способа или образа жизни все они хотя и необходимы, но не достаточны. Роль таких органов продолжают выполнять другие индивиды и после периода взросления. Только совместность действий, взаимопомощь и взаимовыручка обеспечивают сохранение жизни каждой особи. Необходимое для выживания предметно-деятельностное общение, видимо, «роковым образом» повлияло на генофонд наших животных предков, сделав «излишним» онтогенетическое развитие самостоятельных органов индивидуального выживания (клыков, когтей, сильных челюстей и т. д.). Не случайно антропологи сегодня склонны признавать именно устойчивую форму общения искомым «началом» антропогенеза. При этом, однако, нет оснований противопоставлять общение труду. Предки наши не виноваты в том, что мы долгое время пытались разгадать заданную ими загадку возникновения человека, прямо начиная от производимого орудия и отвлекаясь от социальной, вернее, «предсоциальной» формы общения, без которой, кстати сказать, сам труд не может быть целесообразной деятельностью¹³.

СОВМЕСТНО-РАЗДЕЛЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И ОБЩЕНИЕ РЕБЕНКА И ВЗРОСЛОГО

Таким образом, социальность предметно-деятельностного отношения наших животных предков к миру прервала («затормозила» и переделала на свой лад) развитие видоспецифических органов индивидуального выживания. Обособленность индивида и необходимое ему «органное вооружение» в этих условиях — скорее слабость, чем сила. Сила же — в развитии органов общения (прежде всего: манипу-

лятивных — выразительный жест, движение, и речевых — язык). И их развитие на все века человеческой истории оказалось необходимым делом самих индивидов. Генотип человека не «предполагает» ни возрастного, ни какого иного развития «главного органа» человеческой жизнедеятельности у отдельного индивида — другого разумного человека. Вернее, других людей и устойчивой, исторически развивающейся в процессе производства условий и средств жизни, связи между ними. Формы общения людей развиваются не по законам биологической наследственности, а совсем по иным, небιологическим законам. Вот чем «обделил» антропосоциогенез человека! Вот чем он его вооружил.

Таким образом, в основании саморазвития индивида лежит противоречие между естественными нуждами и органами их удовлетворения и формирования. Противоречие — потому что «органы» удовлетворения его нужд, «органы» формирования его человеческих потребностей не образуются в нем самом по наследственной программе¹⁴. Ведь и возрастные этапы развития организма ребенка генетически не предопределяют их появления и развития, как это мы видим у детенышей высших животных, также на первых порах вынужденных во всем полагаться на своих «близких взрослых».

Чтобы стать взрослым, а затем остаться человеком, чтобы сформировать свои человеческие способности, каждый человеческий индивид должен научиться находить или воспитать в других людях жизненно необходимые ему качества.

Иными словами, если младенец в определенный период онтогенеза не сумеет сделать с помощью социокультурных средств, самостоятельно, собственными усилиями, совершенствуя их для себя, из своих «близких взрослых» свои же «органы» удовлетворения естественных нужд, если,

¹³ В этой связи уместно вспомнить горестное восклицание Б. Ф. Поршнева: «Увы, почти всякий современный автор, рассуждая о роли «труда» в становлении человека подразумевает именно единичную особь, манипулирующую с материальными предметами...» (Поршнев в Б. Ф. О начале человеческой истории (проблемы палеопсихологии). М., 1974, с. 428).

¹⁴ Снова подчеркнем во избежание недоразумений: речь идет сейчас не о том, что именно по этой программе в определенное время у ребенка прорезаются зубы, формируются вторичные половые признаки и т. п. Его физиологическое развитие, как уже говорилось выше, осуществляется на основе нормы наследования, определенной генотипом. Но все жизненно необходимые ему физиологические органы только необходимы, но не достаточны для того, чтобы образ его жизни стал и оставался единственным возможным для него образом осознанного бытия, который, по К. Марксу, производится людьми совместно в процессе производства всех материальных условий жизни.

с другой стороны, его «близкие взрослые» по собственной воле не пойдут ему в этом навстречу и не предложат ему средств и способов целесообразного содействия, то и в будущем ребенок не найдет ни в себе, ни в ком другом ни одного способа выживания и развития.

К счастью, и для его близких рождение ребенка, его беспомощность и первые проявления жизненных связей с миром тоже есть не что иное, как начало формирования нового стимула жизни, нового «органа» ее преобразования. Ведь и изначально в организме родителей все настроено на появление и развитие этого «органа». Формирующийся в лоне матери зародыш будущей самостоятельной жизни — естественнейшее, ее, матери, продолжение и осуществление, физический орган ее собственного развития. В определенный период внутриутробного своего формирования ребенок приобретает необходимые для «самостоятельной» жизни видоспецифические черты, и тогда особенно явно ощущается, что теперь уже организм матери стал органом его жизнедеятельности. Но и появление его на свет не меняет сути дела; и он и его родители являются друг для друга органами дальнейшего взаимного «очеловечивания». Способность вживания в другую, тебе навстречу открытую личность, способность к высокому, всего тебя захватывающему чувству ответственности за каждый шаг жизни другого человека, — эта делающая человека человеком способность воспитывается и ребенком.

Разные поколения людей друг для друга — и Марксово зеркало¹⁵, и необходимейшее «средство» самоизменения, саморазвития. Так непрерывность биологической смены поколений в истории человечества стала иной: непрерывностью легко разрушаемого и всегда необходимого взаимопревращения друг друга в «органы» жизни и развития. Но это не над людьми стоящий закон, влекущий их навстречу друг другу и «подсказывающий» им способы и средства взаимопомощи. Необходимость проявляется здесь своей негативной формой: когда твой жизненный орган — вне тебя, то приходится в себе находить сред-

ства (голос, мимика, жест и т. п.), чтобы «приручить» этот «орган» выполнять его функцию.

И пока еще инстинктивно ребенок превращает общение с близкими взрослыми в функциональный орган своей жизнедеятельности, его собственная жизнедеятельность превращается в особую, совместно-разделенную деятельность, и именно он сам сохраняет и поддерживает ее в таком качестве. Средства «управления» взрослыми как своими функциональными органами ребенку дают сами взрослые. В объективно-предметном образе этих (всегда и коммуникативных) средств воплощен исторически выработанный способ содействия людей — общий для всех (всеобщий) способ. Навык его осуществления есть одновременно и навык общения. Например, мое субъективное умение читать и писать есть не что иное, как навык общения с другими людьми.

Его субъективность (индивидуальная способность, эмоциональность, образ ожидаемого изменения в действиях других людей и т. п.) впервые предстает перед самим субъектом в виде внешнего для него образа предмета (средства) и не существует уже как-то отдельно от предмета, беспредметно. Так, мое умение читать и писать впервые предстало передо мной как текст, даже как образы отдельных букв. И отношение к средству (предмету) есть одновременно и отношение к своему собственному субъективному способу действия с ним, к самому себе, к своей способности. Т. е., когда я сейчас пишу, то каждое слово, каждая буква в нем для меня существует не как какой-то безразличный мне внешний предмет, а как естественная реализация моей субъективной способности писать. И, наоборот, отношение к себе, к собственным потребностям и способностям существует теперь как отношение к их предметам, само ставшее тем самым предметом отношения. Опять-таки, потребность поделиться мыслями, написать что-то — это моя субъективная потребность, но и то, о чем мне хочется рассказать вам (предмет моей мысли), и то, как я рассказываю (все время поправляя себя и исправляя написанное) — существует реально для меня как действие с внешним предметом.

САМОСОЗНАНИЕ И УНИКАЛЬНОСТЬ «Я»

Но все это означает, что теперь не видоспецифическое «отношение к миру» управляет индивидом, а индивид получает

¹⁵ «В некоторых отношениях человек напоминает товар. Так как он рождается без зеркала в руках и не фихтеанским философом: «Я есть я», — то человек сначала смотрится, как в зеркало, в другого человека. Лишь отнесясь к человеку Павлу как к себе подобному, человек Петр начинает относиться к самому себе как к человеку» (Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 23, с. 62, примечание).

возможность управлять своим отношением к предметам деятельности и общения. Направляя свое отношение к миру, изменяя его по мере надобности и по мерам всеобщих способов со-действия, индивид изменяет свои способы действия, свои способности действовать так, а не иначе. Последнее есть и изменение самого себя, самоизменение.

Следовательно, человеческая жизнедеятельность рефлексивна по своему основанию. В ее фундаменте — отличие себя от себя же самой. Так, впервые в истории форм жизни на Земле возникает отношение к себе, к другим, к предметам совместной деятельности — к необозримому миру реальной действительности. Животное же, как писал К. Маркс, в этом смысле вообще не относится¹⁶.

Нет, не «сознание» как особое свойство или способность развивается в самосознание, образуя уникальность нашего «Я!». Именно отношение субъекта человеческой жизнедеятельности к ней как к таковой, как к всеобщему (общезначимому) внешнему для него процессу образует и того, кто относится, формирует его самощущение, само-чувствие, само-знание: его самосознание. И сознание (т. е. отношение к миру со знанием) возможно только в том случае, когда действительно самосознание. И только тогда объективный мир противопоставляется субъекту в качестве внешнего предмета его внимания и забот.

Так, все, к чему человек стремится, и все, что он находит, изобретает и использует для достижения своих целей, ведет за собой его не прямо своими физическими свойствами (предположим, даже биологически ему необходимыми), а своей общественно значимой формой. Знаменитый пример из главы о «Товарном фетишизме» К. Маркса — только одна из возможных здесь иллюстраций: люди в деньгах видят не силу их физических качеств (ну, что в них — этих бумажек!), а общественно значимую силу — силу престижа, власти над другими людьми, реальную возможность обменять их на продукты труда других людей и т. п. И любая предметная форма общественно значимых средств жизни потому-то и называется К. Марксом «чувственно-сверхчувственной», что ее реальная сила, образующая стимулы и мотивы человеческой жизнедеятельности, возникает только в общественных отношениях и представляет человеку именно эти отношения, а не просто

свои физические, «чувственные» качества. Иными словами то, как человек действует, все его поведение другим людям представляется в чувственно-воспринимаемой форме, но другие люди прежде всего видят в этой форме (и судят по ней) его характер, его цели, его способности и умения. Поэтому и для него самого способ, каким он практически осуществляет свою предметную жизнедеятельность, сам в центре его внимания, сам — предмет коррекции и изменения. И это — главное условие возможности ее осуществления. Он предстает перед субъектом в виде чувственно предметного образа средств деятельности и общения, в виде образа действия с ними, как план и образ результата их применения. Поэтому и в процессе действия человек не сливается с самим своим действием, отличает себя от собственного действия, «квитает» над ним, сверяя действие с планом, с общественно значимой мерой поэтапно получаемых результатов. Он свободен как субъект своего действия, он может заранее ждать определенных результатов, и как раз тех, на которые объективно способны и средства его усилий. Значимые для всех средства и предметы совместно-разделенной деятельности людей, а тем самым — и их общения (язык), предостоят перед нами как объективное значение самих предметов, как знание (идеальный образ) объективных возможностей этих предметов. Так формируется переживаемое, поднимающее жизненно-эмоциональную взаимосвязь человека с миром до уровня высоких эмоций, отношение к окружающей действительности со знанием того, на что она сама по себе способна. И это есть то самое отношение, свободное от непосредственной слитности человека с его жизненными функциями, которое позволяет и его предметам (опять-таки, не путать с объектами!) свободно «поворачиваться» перед ним своими еще не открытыми им сторонами.

Продуктивное воображение, таким образом, не наследуется генетически. Но оно не «наследуется» и не «приобретается» при овладении готовыми способами (навыками), орудиями, средствами и предметами общения и деятельности. Ребенок, к счастью, просто не способен усвоить готовые, исторически выработанные способы и средства совместно-разделенной деятельности. Именно наследственно не предопределен столь легкий путь человеческого развития.

И унаследованная ребенком подвижность жизненной активности, ее незакрепленность за видоспецифическим арсеналом

¹⁶ Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 3, с. 29.

жизненно необходимых предметов есть, действительно, одно из немаловажных условий развития человека. Но те формы общения, те способы и средства жизнедеятельности, которые он застаёт в развитой до него культуре, ему всегда «чуть-чуть не по плечу». Всегда между ними и его природными возможностями есть «ничейная земля», или, как определил ее Л. С. Выготский, зона ближайшего развития. Овладеть ею приходится каждый раз самому¹⁷. Даже при самом горячем желании взрослые не могут пройти ее за ребенка, хотя и стараются часто с усердием, достойным лучшего применения. (Вспомним, хотя бы, полные нежности, устремленные навстречу ребенку «сюсюкающие» упрощения слов или предельную «заорганизованность» взрослыми самодеятельности подростков.)

Психологи же давно и пристально изучают возрастные кризисы (кризисы роста), каждый из которых, по сути дела, мог бы быть назван так же, как называется один из первых: «Я — сам!» Ведь только субъективно (эмоционально) мотивированным со-творением (изменением «навстречу взрослым») средств и способов деятельностного общения, только их «для-себя-усовершенствованием» будущий человек приобщает их себе, делает их своей субъективной способностью. И только поэтому он — уже человек!

Так, ребенок лишь постольку овладевает прямохождением и членораздельной речью (а следовательно, и своей способностью мышления), поскольку он сам вносит соответствующие его нуждам и при-

родным возможностям изменения в предлагаемые ему «модели» способов их употребления. И то, как именно приспособит ребенок к нуждам своим и своим возможностям общезначимые средства и предметы совместно-разделенной со взрослыми деятельности, то, как он пройдет сам предстоящую ему зону ближайшего развития, — это не предопределено наследственно и не подсказано полностью извне.

*

В этом суть развиваемой здесь точки зрения. Дело не в том, какие из необходимых ему средств человек наследует «внутренне» (генетически), а какие — «внешне» (социально). Дело все в том, что он не может унаследовать (т. е. приобрести в готовом виде из генофонда или из уже существующей культуры) свою способность создавать новые формы этих средств. А ведь даже познание того, что есть в природе и в обществе — т. е. получение знаний! — возможно лишь при условии совершенствования и изобретения указанных средств. Только то, что уже младенцем человек вынужден создавать из предлагаемых ему наследственностью и близкими взрослыми свои собственные средства преодоления каждой встающей перед ним новой зоны ближайшего развития, обеспечивает ему в-живание в особый способ бытия — в осознанное бытие людей. И каждый раз все ресурсы его жизненной активности и ее эмоционального строя необходимы ему для открытия своей первой Америки. Да, каждый человек рождается Колумбом уже потому, что не может сделать свой первый шаг, произнести свое первое слово, не переиначив по-своему «карты» человеческих взаимодействий. Преобразование же средств и способов общения, отвечающее его целям и мотивам и разрешающее противоречия в их предметном содержании, есть как раз то действие, которое мы называем человеческим мышлением.

И человек, вынужденный всемерно использовать своих близких взрослых в качестве недостающих органов своей жизненной активности, воспринимающий при этом образ их эмоционально-осмысленных действий как образец и меру своих собственных, к ним обращенных поступков, учится тем самым отношению к себе «как к другому», учится отличению себя от собственной жизнедеятельности. И на этой основе самосознания одновременно происходит развитие его человеческой психики (сознания) и ее главной сущностной силы — силы творческого продуктивного воображения.

¹⁷ Здесь необходимо сослаться на результаты многолетних экспериментов известного советского психолога М. И. Лисиной и ее учеников. См., напр. в сб. «Психолого-педагогические проблемы становления личности и индивидуальности в детском возрасте» (М., 1980) статью М. И. Лисиной «Формирование личности ребенка в общении». Можно порекомендовать также и специальные сборники научных работ, выполненных под ее руководством, ее статьи, написанные совместно с Н. Н. Авдеевой, работы М. Г. Елагинной, Л. Н. Галигузовой и др. Читаться в результаты их экспериментов важно и для того, чтобы убедиться в существенно важных выводах: как показывает М. И. Лисина, окружающий ребенка, созданный взрослыми целый мир «умных вещей» — предметов ухода за ребенком, предметов его первых потребностей, игрушек и т. п. — существует для него как ориентирующий и направляющий его жизнедеятельность только в общении с близкими взрослыми. Взрослые — посредники между его нуждой, первыми потребностями и миром предметов, что тут же превращает и сами эти предметы в умных посредников общения ребенка со взрослыми.

Каменные глетчеры

А. П. Горбунов,

доктор географических наук

С. Н. Титов

Казахстанская высокогорная геокриологическая лаборатория
Института мерзлотоведения СО АН СССР

Алма-Ата

Каждому, кто поднимается в горы и пересекает верхнюю границу леса, открывается неповторимая картина. Альпийские луга, которые с высотой редеют и сменяются царством осыпей, скал и ледниковых морен, еще выше — языки ледников, склоны, покрытые вечными снегами, зубчатые гребни, остроконечные пики... Среди этих в общем-то привычных атрибутов высокогорного ландшафта обращают на себя внимание необычные образования, которые на первый взгляд кажутся просто нагромождением камней, похожим на обвал или морену. Достаточно, однако, внимательного взгляда с какой-нибудь высокой точки, как становится ясным, что формы эти по очертаниям больше напоминают погребенные под обломками ледники, а по своеобразным структурам на поверхности — застывшие лавовые потоки.

Именно сходство по внешним очертаниям с долинными ледниками привело к мысли назвать эти образования каменными глетчерами, так как глетчерами именуют долинные ледники. Этот термин прочно укоренился в научной литературе, и в настоящее время им пользуются как в СССР, так и за рубежом для определения крупных скоплений сцементированных льдом грубообломочных масс, пришедших в движение под воздействием силы тяжести и приобретших форму, напоминающую в плане протянувшийся по долине ледник. Кроме внешнего сходства, каменные глетчеры обладают и рядом специфических черт внутреннего строения, делающими их похожими на ледники, так что термин «каменный глетчер» оказался наиболее удачным по сравнению с другими («каменный поток», «каменная река» и др.).

Встречаются каменные глетчеры в горных системах с холодным и умеренно-

влажным климатом, которые располагаются на различных широтах — от островов Шпицбергена и Гренландии на севере до Антарктиды на юге. В нашей стране каменные глетчеры имеются на Кавказе, в горах восточной части страны, а также на Памире и Тянь-Шане, где работает экспедиция нашей лаборатории.

Чем же интересны каменные глетчеры?

Во-первых, количество переносимого или обломочного материала примерно в 10 раз превышает объем материала, перемещаемого другими процессами на склонах гор, и сопоставимо с масштабами эрозионной деятельности. Поэтому движение каменных глетчеров приводит к существенным изменениям высокогорных ландшафтов. Во-вторых, они нередко перегораживают речные долины и становятся своеобразными плотинами, подпруживающими озера довольно крупных размеров. Изучение движения каменных глетчеров (и в частности, их катастрофических подвижек), воздействие этих форм рельефа на дороги, мосты, линии электропередач и т. п. имеет не только теоретический, но и практический интерес.

При всем разнообразии каменные глетчеры принято делить на две основные группы по их положению и источнику питания: первая группа — приледниковые, вторая — присклоновые, не связанные с оледенением и располагающиеся на осыпных склонах.

Приледниковые каменные глетчеры чаще всего встречаются в V-образных (троговых) долинах и имеют в плане вытянутую форму с окончанием в виде языка или лопасти. Их длина — от сотен метров до нескольких километров, ширина — от нескольких десятков до нескольких сотен мет-



Флюидальные структуры на поверхности каменного глетчера — результат его движения.

ров. Внизу глетчер ограничивается фронтальным уступом высотой от 15—20 до 40—50 м, а в отдельных случаях даже до 80—100 м.

Менее крупные присклоновые каменные глетчеры формируются при промерзании грубообломочных осыпей и располагаются у подножий склонов. Сюда же можно отнести формы, которые образовались в циркообразных углублениях (карах), не занятых в настоящее время ледниками. Иногда цепочки присклоновых каменных глетчеров, следующих друг за другом вдоль борта долины, сливаются, образуя своеобразные гирлянды, окаймляющие подножия осыпных склонов.

Еще одна группа каменных глетчеров непосредственно связана с хозяйственной деятельностью человека в горах. Речь идет о так называемых техногенных каменных глетчерах, которые образуются при отсыпке грубообломочного материала на горные склоны в условиях вечной мерзлоты. Такие формы возникают буквально на наших глазах поблизости от горных выработок. В Хибинах, на плато Расвумчорр, за последние

5—7 лет появилось до 10 каменных глетчеров¹.

Как приледниковые, так и присклоновые каменные глетчеры подразделяются на активные (современные) и пассивные (древние) формы. Активные, т. е. движущиеся глетчеры, легко распознаются по лишенному растительности и лишайниковому покрову фронтальному уступу, крутизна которого близка к углу естественного откоса, а также по специфическим формам микрорельефа поверхности.

При потеплении климата лед, содержащийся в каменном глетчере, вытаивает, а это в свою очередь приводит к прекращению движения, формированию почвенного и растительного покрова. Фронтальный уступ пассивного глетчера стабилизируется, приобретает мягкие очертания, покрывается травянистой и кустарниковой растительностью. Вытаивание подземных льдов, частичное или полное, изменяет и характер поверхности глетчера: она становится пологоволнистой, с многочисленными «оспинами» термокарстовых просадок. Такие неактивные формы впоследствии могут быть перекрыты каменными глетчерами последующих стадий активизации.

На развитие каменных глетчеров влияет целый ряд природных факторов: расчлененность рельефа, петрографический состав пород, характер почвенно-растительного покрова, деятельность снега и лавин и многие другие. Приведем примеры. Наиболее благоприятные условия для формирования присклоновых каменных глетчеров возникают в местах повышенной лавинной активности, там, где поступающий со склонов обломочный материал смешивается с лавинным снегом, который, превращаясь в фирн, а затем в лед, заполняет пустоты между обломками и образует ледово-каменную смесь. При достижении определенного содержания льда она приобретает свойства текучести. Другой пример. Каменные глетчеры гораздо чаще встречаются в горах, сложенных породами, дающими при разрушении обломки изометрической формы (например, гранитоидами), но их не бывает в районах, сложенных породами с пластинчатой отдельностью (филлиты, сланцы).

Какие же новые результаты были получены при изучении каменных глетчеров Тянь-Шаня? Визуальные наблюдения и съемки дали возможность определить неко-

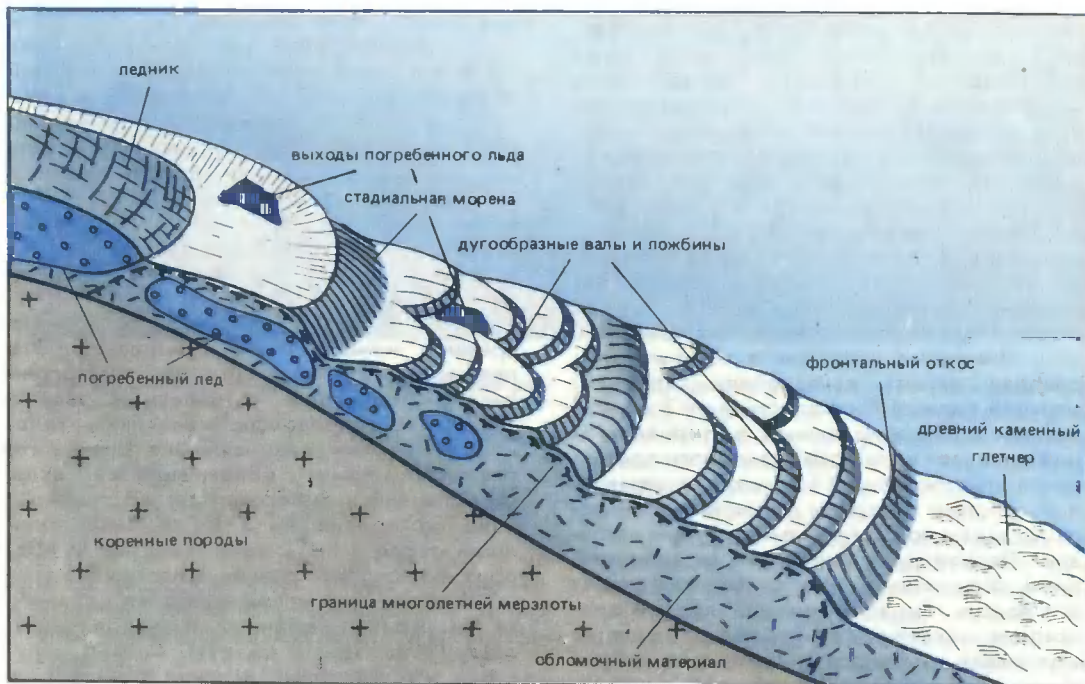
¹ Красносельский Э. Б. Одна из хибинских проблем. — Природа, 1984, № 9, с. 56.

торые закономерности их географического распространения, особенности движения и внутреннего строения. Наиболее детально на сегодня изучены каменные глетчеры одного из хребтов Северного Тянь-Шаня — Заилийского Алатау, где сотрудники Казахской высокогорной геофизиологической лаборатории Института мерзлотоведения СО АН СССР ведут многолетние стационарные наблюдения за этими формами рельефа.

Двигутся каменные глетчеры благодаря ледяным включениям в обломочной

со времени былых подвижек ледника и захороненного под моренным чехлом, или же лед-цемент. При достижении определенного процентного содержания льда, цементирующего обломки (обычно не менее 35—40 %), вся масса приходит в движение за счет пластических деформаций льда под влиянием силы тяжести.

По мнению ряда специалистов, у ложа каменных глетчеров скапливаются летом талые воды, образуя своеобразную водяную подушку, и скольжение мерзлого тела по водной прослойке определяет уве-



Строение приледникового глетчера.

массе. Однако изучение этой ледяной составляющей представляет, пожалуй, наибольшие трудности. Чаще всего мы можем наблюдать лед в верхних горизонтах, и только в отдельных случаях удается получить представление о разрезе каменного глетчера по всей его толщине. Данные по геофизическому зондированию и глубокому бурению крайне скудны и чаще всего не могут претендовать на объективность. Пока наиболее полную картину о характере ледяных включений удастся получить при изучении естественных обнажений в каменном глетчере. Ими могут быть массивы «мертвого» глетчерного льда, оставшегося

личение скорости движения в теплый период года. Допускается также глыбовый характер движения каменного глетчера за счет дифференцированных подвижек отдельных блоков.

Движение каменного глетчера на его поверхности проявляется в возникновении поперечных валов и разделяющих их ложбин или борозд. Эти валы имеют в плане выпуклую форму и выгибаются в сторону движения всего массива. Чередование валов и разделяющих их ложбин делает поверхность каменного глетчера похожей на смятую в складки плотную ткань. Ширина валов колеблется от 10 до 35 м, расстояние между ними — 20—40 м. Валы имеют крутой и выпуклый лоб, по которому осыпаются обломки, и сравнительно

ровную, слегка выпуклую поверхность. Тыловая часть каждого вала оканчивается ложбиной или бороздкой, повторяющей в плане очертания вала и отделяющей его от последующего выше по «течению». Глубина борозд может достигать нескольких метров. Иногда чередование валов придает каменному глетчеру в продольном профиле ступенчатую форму.

Поперечные валы и ложбины каменных глетчеров сходны с подобными образованиями на поверхности многих других нетурбулентных потоков — таких, например, как лавовые потоки и оползни. Характерной особенностью последних является уменьшение скорости движения вниз по «течению», которое сопровождается увеличением мощности или ширины потока. Если возможности для увеличения ширины ограничены (к примеру бортами вмещающей долины), увеличивается толщина, и тогда среднее расстояние между двумя точками, лежащими вдоль направления движения, должно сократиться пропорционально уменьшению скорости. Развитие поперечных валов и борозд в общих чертах связано с уменьшением скорости движения.

Каменные глетчеры в вертикальном разрезе имеют двухслойное строение: верхний горизонт мощностью от 2 до 4 м сложен грубообломочным материалом и представляет собой слой сезонного протавивания; подстилающий его многолетнемерзлый субстрат способен к пластическим деформациям под действием растущих нагрузок. Поскольку способности к деформациям ограничены прочностью слагающих его пород, при усилении напряжений происходит механическое перераспределение материала, а попросту говоря — выдавливание отдельных блоков, что в конечном итоге и приводит к образованию поперечных валов. Неравномерность движения в поперечном разрезе (боковые части движутся медленнее центральных) делает валы в плане выпуклыми в направлении движения.

Наблюдения за скоростями движения каменных глетчеров проводятся во многих горных системах земного шара и дают самые разные результаты: от нескольких сантиметров до десятков метров в год, а иногда подвижки носят катастрофический характер. Здесь полезно будет вспомнить о техногенных каменных глетчерах Хибин, которые проявили себя с совершенно неожиданной стороны. Эти каменные глетчеры формировались при отсыпке обломочного материала на горные склоны крутизной от 30 до 40°. В условиях вечной

мерзлоты северных склонов плато за счет круглогодичного поступления обломочных масс и перемешивания их со снегом, с последующим уплотнением последнего и трансформацией в лед, создавался конгломерат на ледяном цементе. При выполаживании склона до 15—20° отвалы, имеющие форму осыпей, превращались в характерные образования с подковообразными валами и фронтальным уступом. Когда объем льда занял более 30 % общей массы объема, обломки перешли во взвешенное состояние во льду. Это привело к резкому изменению характера деформаций массы из льда и камня: они стали пластическими и при достижении давления 1,6 кг/см² ледовый конгломерат, имеющий температуру —1,2 °С, перешел в текучее состояние и начал двигаться со скоростью до 120 см/сут. Передвигаясь по склону крутизной 10—15°, новообразовавшийся каменный глетчер достиг перегиба, где крутизна склона возросла до 20—30°. Здесь скорость резко увеличилась, произошел разрыв мерзлого тела, и масса объемом около 4 млн м³ обрушилась вниз по долине. Образовался грунтовый поток, нечто среднее между селом и оползнем. Это произошло в 1973 г. Другое катастрофическое обрушение случилось в августе 1977 г. Оно сопровождалось мелкими склоновыми селями, возникшими в результате быстрого таяния обнажившегося льда. Обвалившийся материал распространился вниз по долине на 3 км и занял площадь около 2 км², уничтожив лес и подпрудив несколько ручьев. В настоящее время скорость движения наиболее крупного из техногенных каменных глетчеров составляет 70 м/год (19 см/сут). Можно допустить, что подобные явления возможны и в естественных условиях, когда на пути каменного глетчера происходит резкое возрастание крутизны склона. В Андах, например, отмечены случаи скоростного (до 100 м/год) продвижения каменных глетчеров.

Обычно же каменные глетчеры движутся значительно медленнее, чем ледники — на десятки сантиметров в год. Этот факт подтверждается нашими измерениями в различных высокогорных районах Тянь-Шаня.

В 1923 г. гляциолог Н. Н. Пальгов впервые начал наблюдения за движением одного из каменных глетчеров Заилийского Алатау и вел их до 1946 г. В 70-е и 80-е годы мы продолжили эти работы.

Особенно активно продвигалась центральная часть этого каменного глетчера:



Язык каменного глетчера, перегораживающий речную долину.

с 1923 по 1977 г. она переместилась на 46 м (скорость 0,85 м/год). Медленнее двигались левая и правая часть: за тот же период они сместились на 10 и 5 м соответственно.

В процессе движения каменного глетчера в основании фронтального уступа нередко появляются своеобразные напорные валики из смятой в складки дернины у подножия уступа. Своим происхождением они обязаны движению каменного глетчера, который действует как бульдозер, сминающий верхний слой подстилающей поверхности в складки. Некоторые из валиков образовались буквально на наших глазах.

Скорость движения каменных глетчеров, как и скорость движения ледников, подвержена сезонным колебаниям. Это естественно: летом температура льда повышается, увеличиваются и пластические деформации, приводящие к движению. Наши измерения показали, что основное движение приходится на период с июня по сентябрь. Оживает летом и фронтальный

уступ: на его поверхности постоянно осыпается щебень, мелкозем и более крупные обломки, объем которых может достигать десятка кубометров. При падении такие глыбы выбивают под собой ямы глубиной до 0,5 м и снимают слой дернины.

В самом основании фронтальных уступов из-под обломков выбиваются ручьи чистой, идеально отфильтрованной воды. Эта вода, зачастую текущая от самого ледника, отличается низкой температурой — всего 1—2°C. Доходя до фронтального уступа, талые воды переувлажняют слагающую его массу щебня и мелкозема и образуют нечто вроде небольших селей.

Для формирования каменных глетчеров наиболее благоприятно малое количество атмосферных осадков и стабильная температура воздуха, при которой сохраняются вечномерзлые породы. В итоге площадь открытых скальных склонов увеличивается, интенсивно накапливаются обломки горных пород, из которых и образуются каменные глетчеры. В районах, где открытые скальные склоны — исключительное явление, где хребты сплошь покрыты ледниками (район Хан-Тенгри и пика Победы, центральная часть Заалайского хребта, бассейн ледника Федченко на Памире), каменные глетчеры редки, они подавлены оледенением. Там же, где ледников мало, каменные глетчеры — обычное явление.

Радиолокационные исследования Мирового океана

Ф. Г. Басс, А. И. Калмыков, В. П. Шестопапов

Океан во все времена играл выдающуюся роль в жизни человечества и волновал воображение художников, поэтов, композиторов и ученых. И тем не менее мы об этом объекте до сих пор знаем очень мало. Не потому, что им мало интересовались, — тяга к его исследованию всегда была огромна, а потому, что он чрезвычайно велик. В самом деле, до появления спутников и развития дистанционных методов глобальные исследования его казались невозможными.

Раньше классическая океанография традиционно пользовалась так называемыми контактными методами, при которых измерения проводились с берега либо с борта корабля. В обоих случаях информация о параметрах океана (волнении, течениях, солёности воды и т. д.) относится, как правило, к непосредственной окрестности точки наблюдения. Между тем особый интерес представляют свойства океана в целом. Ученые все чаще и чаще говорят об океане как о высокоорганизованной самоупорядочивающейся системе, в которой очень важную роль играют процессы, охватывающие ее целиком. Исследование большинства таких процессов возможно только дистанционными методами с самолетов и спутников.

До недавнего времени такое дистанционное исследование велось преимущественно оптическими средствами. Но, как выяснилось, перспективны для этой цели и радиофизические методы: как активные (радиолокационные), в которых свойства морской поверхности определяются по отраженному от нее радиосигналу, так и пассивные (радиометрические), использующие собственное тепловое излучение моря в радиодиапазоне. Область радиофизики, посвященная исследованиям океана радиофизическими методами, получила название радиоокеанографии. О ней и пойдет речь в этой статье.

Воды океана из-за своей солёности

довольно хорошо проводят электрический ток, так что электромагнитные волны в глубь океана практически не проникают. Поэтому с их помощью можно изучать, в первую очередь, поверхностные явления: волнение и течения. Впрочем, по ним иногда удается судить и о том, что происходит на глубине.

Сначала, однако, несколько слов о том, что такое морское волнение.

ВОЛНЫ, ВЕТЕР И Т. Д.

Хотя, как утверждал знаменитый физик лорд Дж. У. Рэлей, «основным законом морского волнения является явное отсутствие какого-либо закона», сегодня не вызывает сомнения, что волнение вызвано преимущественно передачей ветром энергии и импульса верхнему слою океана.

В спокойном состоянии поверхность жидкости представляет собой плоскость. Пусть она изменит свою форму по каким-либо причинам, а затем их влияние прекратится. Тогда поверхность окажется под действием двух сил (веса и поверхностного натяжения) и будет «стремиться» снова стать плоской. Однако по инерции любой выделенный объем жидкости «проскочит» положение равновесия, так что возникнут возвращающие силы, он начнет смещаться в противоположном направлении и т. д. Итак, поверхность жидкости, выведенная из равновесия, совершает колебания.

В простейшем случае эти колебания считают монохроматическими и описывают известным соотношением:

$$z = a \cdot \cos(\omega t - kx + \varphi),$$

где z и x — вертикальная и горизонтальная координаты поверхности жидкости, t — время, a — амплитуда, ω — частота, k — волновое число и φ — фаза колебания. Частота и волновое число связаны



Фридрих Гершенович Басс, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией Института радиофизики и электроники АН УССР. Основные научные результаты относятся к статистической радиофизике, исследованию кинетических явлений в твердых телах и плазме. Автор нескольких монографий, в их числе: Рассеяние волн статистически неровной поверхностью (совместно с И. М. Фуксом). М., 1972; в «Природе» опубликовал статью: Полупроводники со сверхрешетками (1984, № 7).



Анатолий Иванович Калмыков, доктор физико-математических наук, заведующий отделом дистанционных методов исследования природной среды того же института. Специалист по распространению радиоволн и дистанционному зондированию Земли.



Виктор Петрович Шестопалов, академик АН УССР, директор того же института. Научные интересы связаны с теорией дифракции, дифракционной электроникой, радиофизическими методами исследования Земли из космоса. Автор ряда монографий, в частности: Дифракционная электроника. Харьков, 1976; Физические основы миллиметровой и субмиллиметровой техники. Киев, 1985. Лауреат Государственной премии УССР.

между собой. Такая зависимость (закон дисперсии) — важнейшая характеристика волнового процесса. Для рассматриваемых колебаний закон дисперсии имеет вид:

$$\omega^2 = gk(1 + \gamma k^2/g)$$

(g — ускорение земного притяжения, γ — характеристика поверхностного натяжения), а волны называются гравитационно-капиллярными.

Заметим, что амплитуда и фаза гравитационно-капиллярных волн могут зависеть от волнового числа. Складывая отдельные волны, отличающиеся волновыми числами, а следовательно, фазами, ампли-

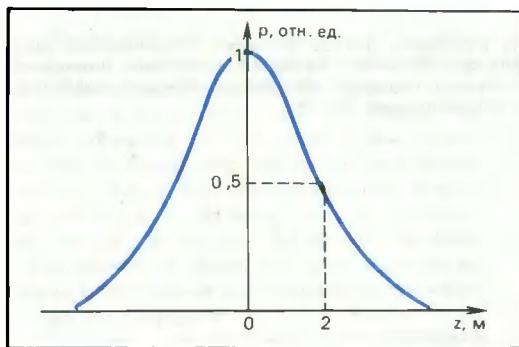
тудами и частотами, получим колебания поверхности весьма сложного вида.

При распространении гравитационно-капиллярных волн отдельные частицы жидкости перемещаются в вертикальной плоскости по окружностям, радиус которых тем меньше, чем дальше центр окружности от поверхности жидкости.

Как отмечалось, волнение океана может вызываться ветром, но и после его окончания или вне области его действия поверхность океана не остается абсолютно спокойной. На ней наблюдается особое волнение — зыбь.

Теперь кратко напомним, что нам известно о ветре. Движение жидкости либо

газа бывает ламинарным или турбулентным. В ламинарном потоке все частицы движутся плавно, упорядоченно. Зная положение и скорость частицы, находящейся в начальный момент времени в некоторой точке такого потока, можно предсказать ее положение и скорость в произвольный момент времени. Однако подобное течение имеет место лишь при малой скорости. С увеличением скорости оно становится неустойчивым. Это значит, что случайно возникающие малые пульсации ско-



Нормированное распределение вероятности p возникновения волн в зависимости от их высоты z . Оно описывается известной функцией Гаусса, симметричной относительно оси ординат (положительные значения z соответствуют гребням волн, отрицательные — впадинам). Как следует из этого распределения, наиболее вероятное состояние моря — полный штиль, а чем больше высота волны, тем меньше вероятность ее возникновения. Пунктиром отмечено значение z , для которого вероятность вдвое меньше максимальной.

рости и давления в пространстве или времени нарастают и оказываются сравнимыми со средними значениями этих параметров. При дальнейшем росте скорости потока появляются пульсации с более мелкими временными и пространственными масштабами, т. е. области, где сохраняется однородность, становятся меньше и пульсируют все быстрее. Такой движущийся с высокой скоростью поток характеризуется набором разномасштабных хаотических пульсаций скорости и давления¹. При этом состояние потока в

данный момент вообще не зависит от начального — поток становится турбулентным.

Турбулентное движение напоминает хаотическое броуновское «блуждание» в системе из большого числа частиц, которое, вообще говоря, невозможно описать законами механики. Ведь из-за частых столкновений система напрочь «забывает» о своем начальном состоянии и за большой промежуток времени проходит через все возможные состояния, что позволяет описывать макроскопические системы такого рода статистическими законами.

Вот именно такой турбулентный поток и представляет собой ветер. Когда ветер дует над водной поверхностью, в тех местах, где давление ниже среднего, вода вспучивается, образуя горбы, там же, где оно выше среднего, образуются впадины. В итоге, на поверхности воды возникает рябь — волны длиной в десятки сантиметров и высотой несколько миллиметров.

Столь простая картина справедлива только при небольших скоростях ветра. С ростом волн начинается их обратное влияние на воздушный поток, в результате чего, в свою очередь, вступает в действие новый механизм их усиления. В самом деле, поскольку давление воздушного потока вдоль профиля волны неравномерно, волна становится все круче и круче. Но этот процесс не может, естественно, продолжаться до бесконечности. Оказывается, что когда отношение высоты (амплитуды) волны к ее длине достигает $1/7$ — $1/10$, ускорение частиц воды сравнивается с ускорением земного тяготения и волна «обрушивается». Высота волн ограничена также из-за передачи энергии от крупных волн мелким и последующего ее превращения в тепло из-за вязкости воды.

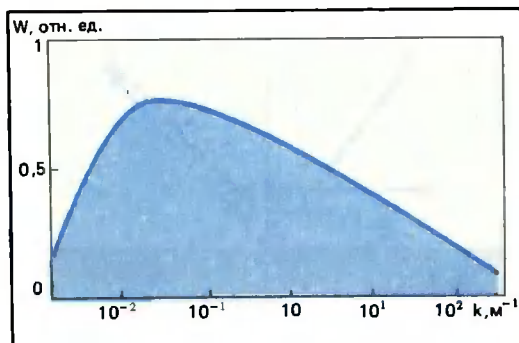
Высота и длина волн зависят от скорости ветра, его продолжительности и так называемого разгона — расстояния, на котором ветер дует с постоянной силой и направлением. Теоретически развитие (не меняющееся в течение длительного времени и на больших акваториях) волнение существует лишь при бесконечных разгоне и продолжительности ветра. На практике же оно устанавливается зачастую при больших, но конечных значениях этих характеристик. При развитом волнении потери энергии из-за вязкости и других причин компенсируются ветром.

Скептическое замечание Рэлея, приведенное в начале этого раздела, связано, скорее всего, именно со статистическим

¹ Интересно, что переход энергии направленного движения жидкости или газа в тепло за счет их вязкости происходит только при мелкомасштабных пульсациях.

характером морского волнения, которое удастся описать лишь вероятностно, в терминах функций распределения и энергетического спектра.

Колебания с разными параметрами взаимно независимы, а их сумма, отвечающая произвольному волнению морской поверхности, описывается известным распределением Гаусса. Иными словами, наиболее вероятное состояние поверхности воды — это штиль, а чем больше высота волны, тем она менее вероятна.



Спектр морского волнения — зависимость среднего значения квадрата амплитуды W волны от волнового числа k . Площадь под кривой (с учетом нормировки) определяет среднее значение высоты волн.

Энергетическим спектром $W(k)$ морского волнения называют зависимость среднего значения интенсивности W (квадрата амплитуды) волны от волнового числа k . Через энергетический спектр выражаются средние квадраты угла наклона волн, их длины и т. д.

Как уже упоминалось, при распространении гравитационно-капиллярных волн частицы воды движутся по окружностям. Это значит, что обычно морское волнение не сопровождается переносом массы воды. Однако, если ветер долго дует в одном направлении, он увлекает поверхностный слой воды и возникает так называемое ветровое течение. При этом нарисованная картина волнения смещается как целое.

Повышенный интерес океанографов в последнее время вызывают так называемые слики — участки поверхности, на которых высокочастотные составляющие вол-

нения (рябь) значительно меньше, чем по соседству, где величина ряби соответствует силе ветра. Причины сликов весьма разнообразны. Часто они вызваны загрязнением морской поверхности поверхностно-активными веществами, особенно нефтепродуктами, образующими на поверхности воды тонкую пленку, которая заметно уменьшает амплитуду и частоту волн. Слики бывают связаны с течениями. При упорядоченном движении воды часть энергии потока может быть передана волнам, а может быть и отнята у них. В результате над течением волны окажутся не такими, как в стороне от него. Еще одна причина этого явления — внутренние волны. Пусть в толще океана существует какая-либо вертикальная неоднородность, скажем два горизонтальных слоя, тогда на разделяющей их плоскости также могут возникать гравитационные волны, имеющие максимальную амплитуду как раз на границе раздела. Если эта граница находится не очень глубоко, такие внутренние волны «выйдут» наружу и сложатся с поверхностными, образовав слики.

Даже из сказанного выше видно, сколь интересно и непросто изучать морские волны. Посмотрим, как это делается с помощью других волн — электромагнитных.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И МОРСКИХ ВОЛН

Как отмечалось выше, одна из важнейших характеристик морского волнения — его энергетический спектр. Здесь мы обсудим возможность его определения радиофизическими методами.

Рассмотрим сначала самый простой случай, когда отклонение взволнованной морской поверхности от плоскости можно считать малым (с точки зрения отражения радиоволн), иными словами, когда длина электромагнитной волны гораздо больше высоты морской. Эта высота меняется от нескольких сантиметров до нескольких метров, так что речь идет о радиоволнах метрового и декаметрового диапазонов.

В штиль, когда волнение отсутствует, и морская поверхность гладкая, электромагнитные волны отражаются от нее, как от зеркала. Волнение приводит к тому, что электромагнитные волны, рассеиваясь, отражаются от поверхности воды незеркально. Кроме того, поскольку взволнованная поверхность движется, вследствие рассеяния Мандельштама — Бриллюэна изменяется и частота отраженной электро-

магнитной волны². Хотя задача о рассеянии электромагнитных волн неровной поверхностью — сугубо классическая, некоторые результаты получаются проще и нагляднее, если воспользоваться квантовой аналогией.

Как известно, электромагнитную волну с волновым числом $\vec{q}$ и частотой $\Omega(q)$ можно трактовать как частицу (квант) с импульсом $\hbar\vec{q}$ и энергией $\hbar\Omega$ ($\hbar$ — постоянная Планка).

Колебаниям морской поверхности с волновым числом $\vec{k}$ также сопоставляют своеобразные «частицы» с импульсом $\hbar\vec{k}$ и энергией $\hbar\omega(k)$. Тогда рассеяние электромагнитной волны на волне морской поверхности можно рассматривать как столкновение кванта электромагнитного поля с такой частицей. Этот процесс удобно изобразить графически с помощью специальной диаграммы.

При таком столкновении должны сохраняться импульс и энергия:

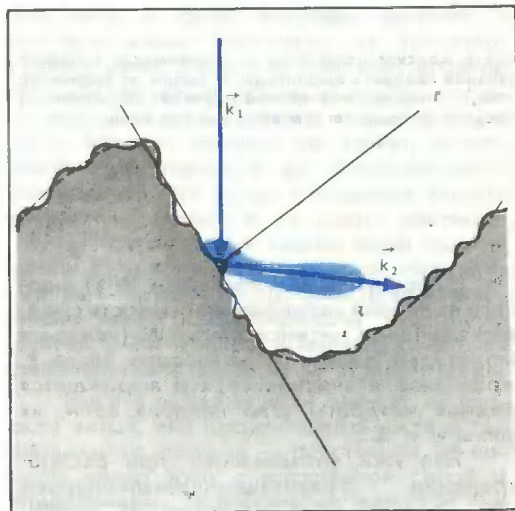
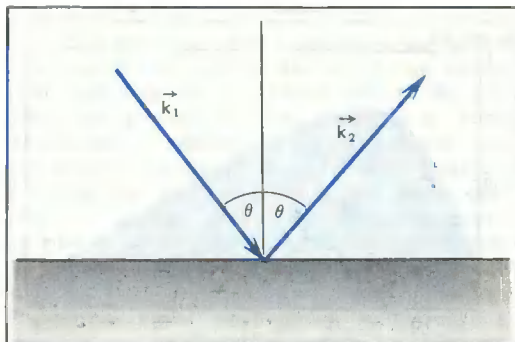
$$\vec{q} + \vec{k} = \vec{q}'; \quad \Omega(q) + \omega(k) = \Omega(q')$$

($\hbar\vec{q}'$ — импульс кванта электромагнитного поля после столкновения). В переводе на язык классической физики это значит, что частоты рассеянного и падающего электромагнитного излучения отличаются на величину $\Delta\Omega = \omega(q - q')$.

Подставляя в приведенный выше закон дисперсии ($q - q'$) вместо k , найдем изменение частоты $\Delta\Omega$ радиоволны, отраженной от поверхности воды (если наряду с волнением на поверхности есть ветровое течение, $\Delta\Omega$ дополнительно меняется на $(q - q') \cdot U \cdot \cos\psi$, где ψ — угол между направлением рассеянной волны и скоростью течения U). Правда, в получае-

мые таким образом формулы параметры волнения вообще не входят, поэтому по сдвигу частоты непосредственно судить о нем нельзя.

И все же из законов сохранения следует важный физический вывод. Хотя морское волнение представляет собой сумму большого количества гравитационно-капиллярных волн, рассеяние электромагнитной волны (при фиксированных частотах настройки передатчика и приемника) происходит лишь на одной из них с волновым числом и частотой, определяемыми



Отражение электромагнитной волны от водной поверхности в штиль (вверху) и при волнении (внизу). От плоской поверхности моря электромагнитная волна отражается зеркально, т. е. отраженная волна [с волновым вектором $\vec{k}_2$] распространяется симметрично падающей [с волновым вектором $\vec{k}_1$] под углом θ относительно нормали к поверхности. Ультракороткие радиоволны рассеиваются мелкой рябью (волнистая линия) на фоне крупных волн (пунктир), которые для таких радиоволн «выглядят» как плоскости с чередующимся наклоном [одна из них изображена прямой линией], отражающие сигналы практически зеркально. Цветом отмечена диаграмма направленности рассеянного рябью излучения.

² Рассеяние Мандельштама — Бриллюэна, испытываемое электромагнитным излучением в конденсированных средах, обусловлено взаимодействием излучения с собственными упругими колебаниями среды и сопровождается изменением частоты излучения. Например, такое рассеяние монохроматического света в кристаллах приводит к появлению шести частотных компонент в рассеянном пучке, в жидкостях — трех (одна из них совпадает с первоначальной). Причина этого — дифракция электромагнитного излучения на своеобразной периодической решетке из стоячих упругих волн, напоминающая дифракцию на ультразвуке. Вклад в рассеяние вносят флуктуации плотности и температуры среды, вызванные ее колебаниями. Интенсивный (скажем, лазерный) пучок электромагнитного излучения в диэлектриках испытывает так называемое вынужденное рассеяние Мандельштама — Бриллюэна, т. е. сам порождает сильную упругую волну (гиперзвук).

законами сохранения. Такое рассеяние называется избирательным, или резонансным, а законы сохранения представляют собой условия резонанса.

От спокойной поверхности моря электромагнитная волна, как отмечалось, отражается, как от зеркала. Амплитуда же рассеянной радиоволны отличается от нуля лишь при волнении, иными словами, пропорциональна амплитуде морской волны с волновым числом $(\vec{q} - \vec{q}')$. Следовательно, средний квадрат амплитуды (интенсивность) рассеянного радиоизлучения про-

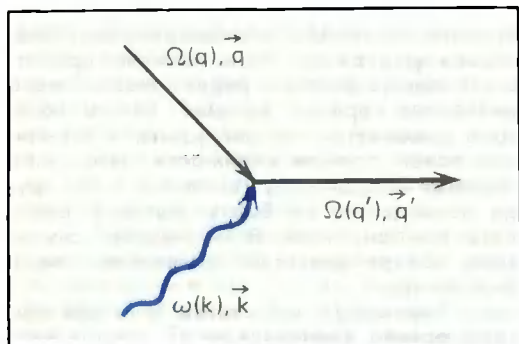


диаграмма рассеяния электромагнитной волны с волновым числом q и частотой $\Omega[q]$ на морской волне с волновым числом k и частотой $\omega[k]$. В результате рассеяния изменяется волновой вектор электромагнитного излучения (вектор $\vec{q}'$), можно найти по правилу сложения векторов $\vec{q}$ и $\vec{k}$ и его частота $\Omega(q')$ находится по обычным правилам сложения скалярных величин. Диаграммы такого типа фактически предполагают использование для рассеяния волн «языка квазичастиц», на котором все соотношения выглядят проще и нагляднее.

порционален среднему квадрату амплитуды морской волны, т. е. ее энергетическому спектру $W(k)$. Таким образом, измеряя интенсивность рассеянного излучения на различных частотах, удается определить энергетический спектр морского волнения, а стало быть — высоту и длину морских волн. Для этого в дециметровом диапазоне проводят одновременно измерения на различных длинах волн.

Существует и ряд океанографических задач, для решения которых нужны ультракороткие волны (УКВ) — сантиметровой или даже миллиметровой длины. В чем особенности рассеяния таких электромагнитных волн? Как уже отмечалось, морское волнение складывается из волн разных масштабов. При рассеянии УКВ важны два его масштаба: самый малый (рябь) и самый большой.

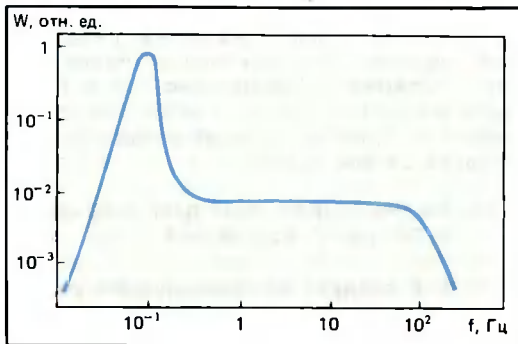
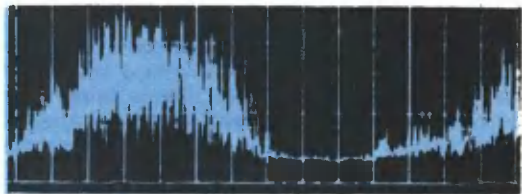
Так как радиус кривизны крупных морских волн достигает нескольких метров, сантиметровые и более короткие электромагнитные волны отражаются от них, как от плоскости, т. е. зеркально. Нужно, однако, иметь в виду, что эта плоскость наклонена к горизонту, причем угол наклона со временем меняется. Рассеяние же ультракоротких волн обусловлено в основном рябью и носит, как отмечалось, резонансный характер. Но рассеянный сигнал при этом содержит информацию как о ряби, так и о крупных волнах. Как же она извлекается на практике и какая аппаратура используется для этого?

РАДИОЛОКАТОРЫ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ

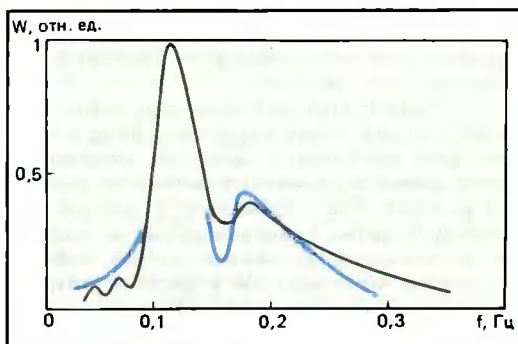
Как следует из предыдущего раздела, на рассеянных морской поверхностью электромагнитных волнах сказывается характер ее волнения. Естественно, что для океанографии представляют интерес в первую очередь крупные волны и течения. Наиболее пригодны для их исследования, как уже говорилось, радиоволны дециметрового диапазона, длина которых превышает характерные размеры морских волн. Радиолокаторы этого диапазона действительно показали прекрасные результаты, подтвердив справедливость гипотезы о резонансном характере рассеяния. По отраженному от поверхности воды сигналу удалось определить высоту и длину морских волн, причем обнаруженные таким образом значения этих величин совпадали с измеренными контактными океанографическими методами. По сдвигу частот отраженных волн нашли и скорости поверхностных течений³.

Однако этот диапазон радиоволн для практических целей неудобен. Дело в том, что для достаточно высокой направленности радиолокационных антенн их размеры должны быть сравнимы с длиной излучаемых волн. Реализованные на практике антенны представляли собой наборы из многих мачт высотой в десятки метров, стоящих одна от другой тоже на десятки метров. Вся система достигала в длину километра и более. Весьма громоздкой выглядела и приемно-передающая аппаратура. Естественно, что такой радиолокатор можно было разместить только на берегу. Правда, из-за дифракции (огибания

³ Подробнее об этом см. напр.: Радиолокационные исследования морского волнения (Под ред. С. Я. Брауде). Киев, 1962.



Фрагмент записи (вверху) и восстановленный из нее спектр (внизу) рассеянного на поверхности океана радиосигнала т. е. зависимость интенсивности сигнала W от частоты $f = \omega/2\pi$. На верхнем рисунке отчетливо видны глубокие низкочастотные (с периодом около 7 с) изменения рассеянного сигнала, а на нижнем — соответствующий им пик в спектре. Это своеобразные следы крупных волн, в которых содержится практически вся энергия морского волнения. Высоочастотные же флуктуации сигнала и ширина пика в спектре определяются рябью.



Энергетические спектры морского волнения, измеренные с помощью радиолокатора (цветная кривая) и контактным способом (черная кривая). Для максимальной амплитуды или интенсивности W (пик в спектре), иными словами, для наиболее крупных волн, результаты радиолокационных и контактных измерений совпадают с высокой точностью. Числа у горизонтальной шкалы дают представление о характерных для таких волн значениях частоты $f = \omega/2\pi$.

препятствий) электромагнитных волн у земной поверхности, дальность его действия составляла сотни километров. (Необходимо однако иметь в виду, что при огибании препятствий интенсивность волн резко падает. Чем короче волна, тем меньше область за препятствием, куда она проникает.) Несмотря на высокую стоимость, такой лоатор довольно эффективен в прибрежной зоне, важной с практической точки зрения, особенно в связи с использованием океанического шельфа для разведки и добычи полезных ископаемых.

И все же стремление исследователей выйти на просторы Мирового океана заставило обратиться к сантиметровому диапазону радиоволн. При наличии препятствий радиус действия радиолокатора этого диапазона гораздо меньше, чем у лоатора дециметрового диапазона, и ограничен зоной прямой видимости, зато такой лоатор чрезвычайно компактен и без труда помещается на борту корабля, самолета или спутника. В последнем случае зона обзора достигает нескольких тысяч километров!

Серьезный недостаток лоатора сантиметрового диапазона — то, что он реагирует на брызги, пену, гребни волн и т. д. Но современная аппаратура позволяет разделять сигналы, отраженные от элементов разных размеров, выделять отражение от морского волнения на фоне отражения от перечисленных объектов. К тому же, такой лоатор обладает большой разрешающей способностью. Если для лоаторов дециметрового диапазона площадь анализируемого участка составляет десятки квадратных километров, то лоатор сантиметрового диапазона видит структуру отдельной волны.

Оставалось на опыте проверить вышеупомянутую двухмасштабную модель, в которой рассматривается рассеяние ультракоротких радиоволн от мелкой ряби на фоне крупных волн. Эта модель, предложенная в 60-х годах в нашей стране и признанная затем во всем мире, основана на физических особенностях рассеяния УКВ поверхностью моря⁴. В этой модели удалось не только объяснить все основные свойства рассеяния, но и разработать радиофизические методы дистанционного зондирования поверхности Мирового океана. Установленные в модели связи харак-

⁴ См., напр.: Калмыков А. И. и др. — Извещения вузов. Радиофизика, 1965, т. 8, с. 1117; Bass F. G. et al. — IEEE Trans. on Antennas and Propag., 1968, v. AP-16, p. 554.

теристик отраженных радиоволн с состоянием поверхности моря и параметрами волнения позволяют экспериментально решать обратную задачу рассеяния⁵. Проверкой модели стало сравнение результатов, полученных радиолокационными и традиционными контактными методами классической океанографии. Для основной энергетической характеристики морского волнения — спектра крупных волн — эти результаты с хорошей точностью совпадают, подтверждая справедливость модели.

С помощью радиолокатора сантиметрового диапазона отчетливо видны и отмеченные выше слики, неразличимые при использовании более длинных волн. Как уже говорилось, исследуя слики, можно судить о характере течений и вихрей, температурных фронтов и других поверхностных явлений в океане, а также о некоторых глубинных процессах, проявляющихся на поверхности из-за взаимодействия внутренних и поверхностных волн.

Впервые параметры морского волнения дистанционно определили волноизмерительными приставками к обычным береговому, судовым и самолетным радиолокаторам. Такая приставка действенна на расстоянии до нескольких километров. Ее испытания в Тихом и Атлантическом океанах на научно-исследовательских судах «Академик Королев» в 1976 г. и «Муссон» в 1978 г. при значительных волнениях (высота волн достигала 10 м, скорость ветра — 23 м/с) продемонстрировали высокую точность измерений ряда параметров. Так, в этих штормовых условиях период волн удалось найти с погрешностью от 4 до 10 %, т. е. не хуже, чем в контактных измерениях. В настоящее время планируются и уже проводятся комплексные испытания различных неконтактных средств измерения параметров волнения, в том числе и волноизмерительных приставок.

Однако корабельные и самолетные радиолокационные станции не в состоянии решить ряд важных задач и прежде всего получить глобальную информацию о волнениях и структуре течений Мирового океана. Для этого нужны радиолокационные измерения со спутников.

КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

28 сентября 1983 г. был запущен специализированный океанографический ис-

кусственный спутник Земли (ИСЗ) «Космос-1500». Основной целью этого запуска стало, как отмечалось в сообщении ТАСС, «продолжение отработки новых видов информационно-измерительной аппаратуры и методов дистанционных исследований Мирового океана и поверхности Земли...». На этом спутнике впервые в отечественной практике для исследования океана и льдов из космоса использована радиолокационная система⁶. Эту систему от зарубежных отличают обработка информации непосредственно на борту ИСЗ и возможность связи с наземными станциями по стандартным каналам, что позволяет с высокой оперативностью передавать информацию непосредственно потребителю⁷.

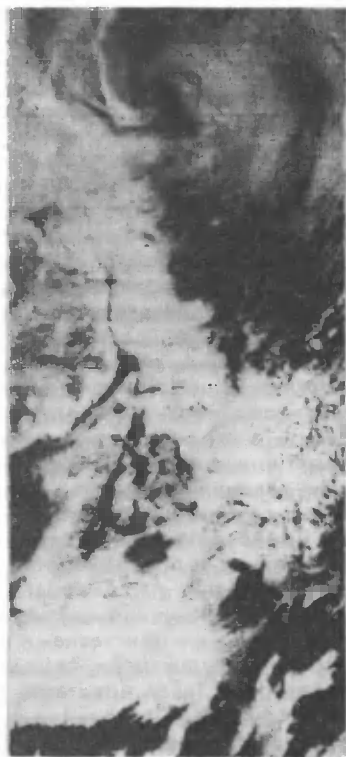
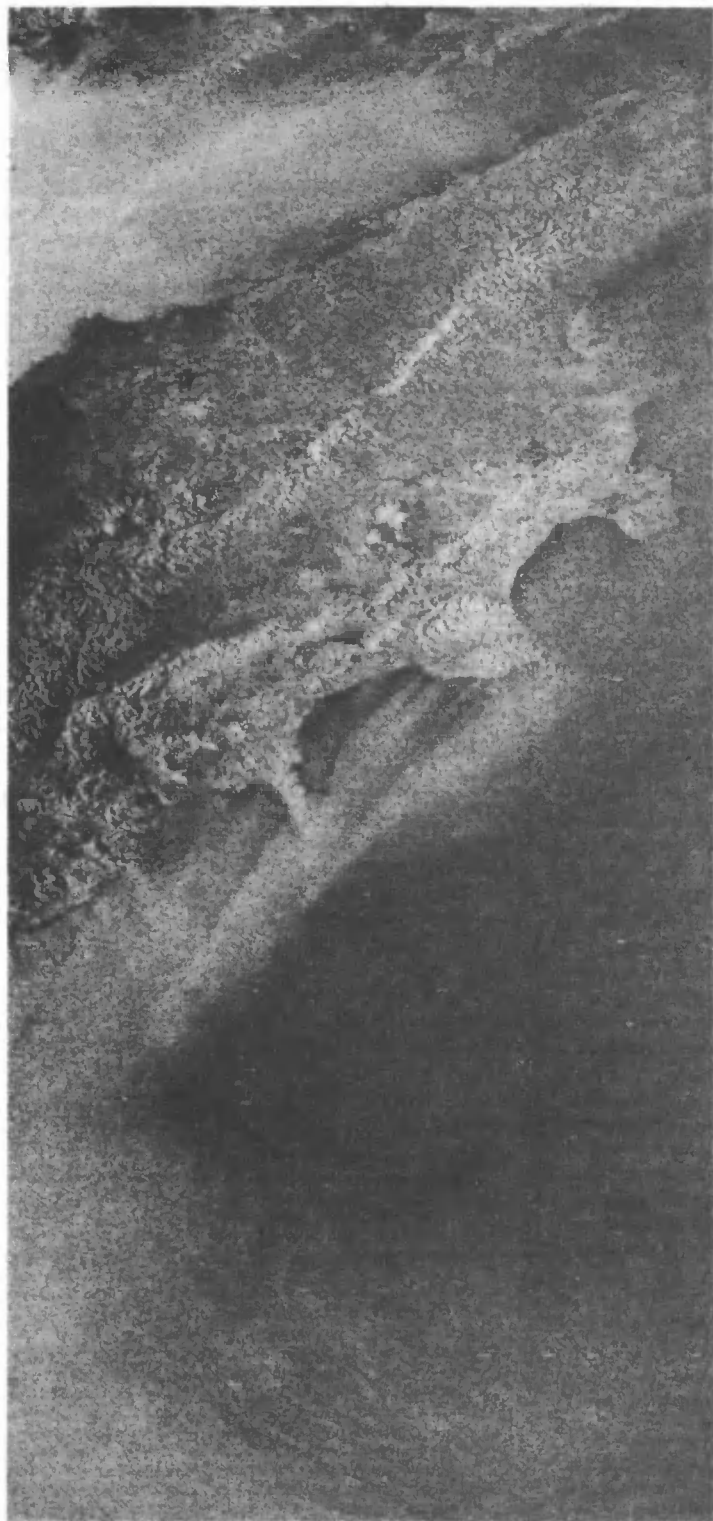
Сразу же оговоримся, что радиолокационный космический мониторинг отнюдь не отменяет другие методы исследований. Так, наряду с радиолокатором на «Космосе-1500» использовалась оптическая система, традиционно применяемая для наблюдений Земли из космоса. При достаточной освещенности и безоблачном небе оптические исследования дополняют и уточняют данные радиолокационных наблюдений.

Как показала эксплуатация «Космоса-1500», радиолокационные наблюдения из космоса позволяют получить богатую информацию об океане. Прежде всего, поскольку рассеивающая рябь чувствительна к скорости ветра, по интенсивности отраженных сигналов («яркости» радиоизображений) удается найти распределение скоростей, или поле, приводного ветра. Правда, следует отметить, что точность этого способа зависит и от состояния крупных волн, т. е. от стабильности волнения. Чтобы узнать направление распространения крупных волн, используют косвенные признаки как радиолокационного, так и оптического изображений.

⁵ Калмыков А. И. и др.— Иссл. Земли из космоса. М., 1984, с. 84.

⁷ Среди зарубежных аналогов упомянем прежде всего американский ИСЗ «Сисэт» («Seasat»). Он проработал на орбите только 3 месяца, но полученные с него данные изучаются уже свыше 6 лет, и их полная обработка еще не завершена. При движении по орбите высотой 800 км со скоростью 7 км/с аппаратура, установленная на этом спутнике, измерила высоту волн с точностью до 10 см, а скорость ветра — с точностью до 2 м/с по величине и до 20° по направлению. Такая точность превышает достигнутую на корабельных станциях. Кроме того, с «Сисэт» получены совершенно неожиданные результаты о форме поверхности океана. Европейский вариант «Сисэт» будет более совершенным, а его работа на орбите намечена на конец 80-х годов.

⁵ Обратная задача рассеяния заключается в определении характеристик рассеивающего объекта по параметрам рассеянного сигнала.



Фрагменты радиоснимков района Камчатки (слева), а также Северной Атлантики (справа), полученных с ИСЗ «Космос-1500». Скорость ветра определяется по «яркости» радиоснимков, т. е. интенсивности отражений радиосигналов. Данные радиолокационных измерений и метеонаблюдений скорости ветра совпадают с точностью 10 — 30 %. Справа внизу для сравнения приведен космический снимок того же района Северной Атлантики, сделанный в оптическом диапазоне спектра. На нем отчетливо виден зарождающийся циклон (спиралевидная структура вверху). На радиоснимке этот циклон не заметен — облачность слабо влияет на распространение радиосигналов и не проявляется на радиолокационных изображениях. В то же время в нижней части радиоснимка наблюдаются области с различным волнением: на востоке (справа) скорость ветра, по данным обработки, достигает 10 м/с, тогда как на западе она не выше 3 м/с. Эти области разделены резкой границей — так называемой фронтальной зоной, ширина которой менее 2 км, а протяженность — свыше 1000 км. На оптическом снимке структура фронтальной зоны практически не выражена, а лишь отмечается характерная для этой зоны облачность.

Радиолокационным методом надежно обнаруживают зоны волнений, штормов, расшифровывают структуры ураганов и тайфунов. В отличие от оптических средств, на показания которых влияет облачность, радиолокатор может заглянуть внутрь тайфуна, определить скорость ветра в нем и его структуру, в частности так называемый «глаз» (именно «глаз» тайфуна, где нет ветра, но образуется волновая «толчая», представляет особую опасность для мореплавания).

По изменению ряби радиолокатор на борту спутника обнаружит фронтальные зоны течений, «следы» внутренних волн на поверхности и т. д. и даже качественно охарактеризует эти образования. Однако для более детального изучения течений, вихрей и т. п. необходимо знать, как они взаимодействуют с рябью.

Радиолокационные методы весьма эффективны и для диагностики из космоса состояния ледовых покровов. Хотя лед сложнее для исследований, чем морские волны, и простой модели рассеяния радиоволн льдом не существует, исследования с самолетов показали, что при отражении ото льда интенсивность сигнала, как правило, выше, чем при отражении участками открытой воды и растет с возрастом (толщиной) льда. Это позволяет «видеть» полыньи, контролировать движение границ между льдом и водой и т. д.

Уже на этапе проверки радиолокатора «Космос-1500» в октябре — ноябре 1983 г. полученная информация использовалась для вывода судов из ледового плена в проливе Лонга. Даже первые попытки использования радиолокационных данных для ледовой разведки в этом райо-

не продемонстрировали эффективность системы, особенно полярной ночью, когда другие средства бессильны⁸.

Радиолокатор становится инструментом и для исследований Антарктиды. Проникающая способность радиоволн позволяет изучать с их помощью ледники на глубинах почти до сотни метров⁹. Для идентификации наблюдаемых структур ледников весьма полезно сопоставление оптических и радиолокационных изображений, первые из которых содержат информацию преимущественно о поверхностных образованиях, а вторые — о глубинных.

По данным «Космоса-1500» проводится регулярное построение радиолокационных карт Арктики и Антарктики, что расширяет возможности изучения и освоения Мирового океана в этих труднодоступных районах.

Говоря в заключение о перспективах радиофизических исследований морского волнения и ледовых покровов, нельзя не отметить, что экспериментальной основой этих исследований остается триада: береговые или корабельные станции, самолетные и космические системы¹⁰. С помощью этих экспериментальных средств можно получить полную картину волнения и состояния льдов, а также ее развитие во времени.

Важно подчеркнуть и то, что радиофизические исследования должны проводиться комплексно (скажем, наряду с активными радиолокационными наблюдениями целесообразно принимать собственное радиотепловое излучение океана). Это особенно эффективно при изучении ледовых покровов¹¹. Радиофизические методы, безусловно, и впредь будут дополняться традиционными океанографическими и метеорологическими, что ускорит построение адекватной модели системы океан — атмосфера в глобальных масштабах. Хочется верить, что осуществление этой программы — дело недалекого будущего.

⁸ Немаловажную роль сыграла радиолокационная разведка ледовой обстановки и в операции по спасению затертого во льдах судна «Михаил Сомов».

⁹ Это связано с тем, что во льду, в отличие от морской воды, почти нет солей, поэтому его следует причислять уже не к проводникам, а к диэлектрикам, в которых электромагнитные волны поглощаются слабо.

¹⁰ 28 сентября 1984 г. в СССР запущен океанографический спутник «Космос-1602» того же назначения, что и «Космос-1500», содержащий на борту радиофизический комплекс «радиолокатор — сканирующий радиометр миллиметрового диапазона».

¹¹ Шестопалов В. П. и др. — Доклады АН СССР, 1983, т. 272, с. 598.

Геронтотимия — почитание старших

А. И. Першиц, Я. С. Смирнова



Абрам Исаакович Першиц, доктор исторических наук, заведующий сектором Института этнографии им. Н. Н. Миклухо-Маклая АН СССР. Занимается вопросами истории первобытного общества, общей этнографии, этнографии кочевых народов. Книги: *Хозяйство и общественно-политический строй Северной Аравии*. М., 1961; *История первобытного общества* (в соавторстве с А. Л. Монгайтом и В. П. Алексеевым). М., 1974. Неоднократно печатался в «Природе».



Ярослава Сергеевна Смирнова, доктор исторических наук, старший научный сотрудник того же института. Изучает проблемы семьи и семейного быта народов Кавказа. Автор книги: *Семья и семейный быт народов Северного Кавказа. Вторая половина XIX—XX в. М.*, 1983.

Едва ли найдется на свете хотя бы один народ, чей нравственный закон не предписывал бы уважать старших. Но уважение уважению рознь. Одно дело — поздороваться первым или уступить место в автобусе и совсем другое — демонстративно обращаться за советами или высказывать подчеркнутые, предписанные этикетом знаки почтения. Такое почтение и — шире — почитание старших уже не просто общечеловеческое правило поведения, а особая соционормативная установка, засвидетельствованная этнографией лишь у некоторой части современных народов. В последние годы она обратила на себя внимание в социальной геронтологии, где для нее даже предложен специальный тер-

мин геронтофилия. Однако этот термин крайне неудачен, так как он «застолблен» в терминологическом аппарате сексопатологии для обозначения извращенной страсти к лицам старческого возраста. Поэтому мы будем называть почитание старших геронтотимией, заменив древнегреческое *philía* (любовь) древнегреческим же *timē* (почитание, почет).

ПЕРВОБЫТНЫЕ КОРНИ ГЕРОНТОТИМИИ

Одной из наиболее ярких особенностей первобытного бытия и сознания считается их нерасчлененный, синкретный, характер. Но это — правило не без исключе-

ний. Ни в одну другую историческую эпоху не было так сильно выражено разделение труда по полу и возрасту. А половозрастное разделение труда вело к не менее выраженной половозрастной дифференциации общества, и в частности к выделению в нем возрастных категорий, различавшихся своими обязанностями и правами, престижем и привилегиями. Таких категорий в различных обществах могло быть больше или меньше, однако при любых масштабах членения выделялась группа старших (но не дряхлых!) мужчин и женщин — хранителей коллективного опыта общины, а стало быть, и ее руководителей. При этом особенно большую роль играли старшие мужчины, которые в условиях как материнского, так и отцовского рода были реальными руководителями первобытных коллективов.

Уже в наименее развитом из хорошо изученных этнографией обществ — у племен аборигенов Австралии — положение стариков было настолько влиятельным, что некоторые исследователи считают возможным определить это общество как геронтократию¹. И действительно, старики здесь собирались на советы, на которых другие мужчины, если и присутствовали, то почтительно молчали. Они организовывали коллективные охотничьи экспедиции и решали вопросы войны и мира; выступали в качестве знатоков обычаев и мифов, блюстителей нравов и знахарей, руководителей, а то и единственных исполнителей важнейших церемоний. Старики получали самые лакомые куски охотничьей добычи и, пользуясь привилегией многоженства, забирали себе в жены лучших девушек и женщин. Недовольных и осмеливавшихся роптать ждала быстрая расправа. Роптавших, впрочем, было немного, так как важнейшей заповедью, которая внушалась юношам во время инициаций (посвятительных обрядов при переводе в группу полноправных мужчин), являлось послушание старшим. Старики же выбирали из своей среды главарей и направляли их деятельность. Главарями часто бывали старейшие по возрасту, но здесь принцип геронтологии мог прийти в противоречие с принципом целесообразности, и тогда во избежание геронтологии, доведенной до абсурда, возникало нечто вроде двоевластия номинальных и фактических гла-

варей рода или локальной группы — общины. Подобное положение складывалось, в частности, тогда, когда «законный» главарь не обладал необходимыми для своей должности качествами — ораторским искусством, воинским умением и т. п., а также если он становился дряхлым. Однако особое одряхление австралийским старикам-«геронтократам» обычно не грозило, поскольку в раннепервобытных охотничье-собираТЕЛЬСКИХ обществах редкий мужчина доживал до пятидесяти-шестидесяти лет. Старики того времени были в нашем нынешнем понимании всего лишь людьми зрелого возраста. Здесь мы впервые встречаемся с исторической относительностью понятия старости, когда старость оказывается не биологической, а социальной категорией, о чем нам еще придется говорить.

Некоторые палеоантропологические данные позволяют предположить, что геронтология была известна древнейшим в истории человеческим коллективам, которые жили 100—40 тыс. лет назад так называемыми праобщинами. В Ираке, в горах Загроса, исследована пещера Шанидар с останками предшественника человека современного вида — неандертальца, точнее, с останками девяти людей (в специальной литературе их обозначают именем Шанидар с добавлением римских цифр). Из них Шанидар I — полный калека: слепой на левый глаз, с ампутированной выше локтя правой рукой, артритом и целиком стертými зубами. У Шанидара II обнаружено тяжелое ранение, у Шанидара III — перелом ребра, у Шанидара IV — повреждение лобной кости. Инвалидом, пораженным жесточайшим артритом, был также неандерталец, останки которого обнаружены в гроте Ла Шапель во Франции. Специалисты обычно приводят эти примеры в доказательство того, что в неандертальских праобщинах уже была известна забота о своих сочленах, а стало быть — получили развитие подлинно человеческие социальные связи. Однако здесь важно и другое. Возраст упомянутых Шанидаров определяют в 40—60 лет, Лашапельца — в 40—50 лет. Если к этому добавить тот знаменательный факт, что вместе с Шанидаром IV, как показало палеоботаническое исследование, были положены цветы целебных растений и что он, возможно, был не рядовым членом праобщины, а знахарем², то сама собой напрашивается

¹ Rivers W. H. R. *Kingship and social organisation*. Cambridge, 1914; Поуз Ф. Аборигены Австралии. Их прошлое и настоящее. М., 1981.

² История первобытного общества. Общие вопросы. Проблемы антропосоциогенеза. М., 1983, с. 381 и др.

мысль о древнейших свидетельствах геронотимии, а возможно и геронтократии, наподобие австралийской.

С переходом от присваивающего охотничье-собираческого к производящему земледельческо-скотоводческому хозяйству экономическая жизнь усложнилась. Усложнилась и общественная организация. У многих племен мира это повело к более четкому оформлению возрастных категорий, на основе которых развился институт возрастных классов.

Для развитой системы возрастных классов характерно большое количество формализованных и, казалось бы, жестко связанных с фактическим возрастом социальных градаций. Скажем, у восточноафриканских оромо (галла) их было пять, каждая с восьмилетним циклом: дети в возрасте до 8 лет; проходящие обучение молодые воины в возрасте от 8 до 16 лет; старшие воины от 16 до 24 лет; зрелые, получающие право иметь детей мужчины от 24 до 32 лет и, наконец, старейшины в возрасте от 32 до 40 лет. Но на деле это были только «идеальные» возрасты, так как ребенок мог вступить в первый возрастной класс лишь тогда, когда его отец выбывал из последнего, иначе говоря — нередко в 16 лет, а закончить весь свой пятиступенный жизненный цикл в 56 лет, если, конечно, доживал до столь преклонных по тем временам годов. Поэтому исследователи, столкнувшись с таким резким расхождением идеальных и реальных возрастов, вынуждены были ввести понятие «социального возраста»³. Сходные системы возрастных классов описаны у многих соседних племен Тропической Африки и племен других регионов мира. Повсюду в этих случаях именно старший возрастной класс образывал совет старейшин, решавший самые серьезные вопросы хозяйственной, общественной и идеологической жизни и пользовавшийся всяческим уважением и почетом.

У подавляющего большинства народов переход к земледельческо-скотоводческому хозяйству повел к дальнейшему усилению роли мужского труда, а тем самым и социального веса мужского пола. Возник семейно-общественный порядок, получивший название патриархата. Патриархат понимается как мужевластие, но вместе с тем он был, в буквальном значении слова, властью не просто мужчин,

а старших из них — отцов, дедов или прадедов, т. е. патриархов. Именно они возглавляли патриархальные большие семьи и их родственные объединения — патронимии или неродственные ранние соседские общины, именно они были главами поздних кровнородственных структур — патриархальных родов. Общественная роль патриархов была настолько велика, а их почитание настолько глубоко, что прижизненная геронотимия породила геронотимию посмертную — культ мужских предков-родоначальников. В религиозном сознании первобытного человека умершие главы семей, патронимий, родов продолжали вызывать чувство покорности и благоговения. А хранителями культа предков становились те же патриархи, «живые предки», закреплявшие культ своей авторитарной властью и использовавшие его для большего укрепления этой власти⁴. Так, патриархат, подобно системе возрастных классов и даже в еще большей степени, придал законченную, можно сказать, совершенную форму идее первобытной геронотимии.

Парадоксальным образом первобытное общество знало порядок, диаметрально противоположный геронотимии, — умерщвление стариков, геронтоцид. Широко известен один из северных рассказов Джека Лондона «Закон жизни» — о старом Коскуше, которого его добрый сын заставляет одного в вихве погнаться голодной смертью, потому что люди спешат, их токи тяжелы, а животы подтянуты от голода. Этот рассказ — не вымысел писателя, в его основе лежат реальные факты. В экстремальных ситуациях некоторые первобытные племена, обитавшие в неблагоприятных для жизни районах ойкумены, умерщвляли маленьких детей или ставших беспомощными стариков, дальнейшая забота о которых грозила существованию коллектива.

Геронтоцид получил известное распространение также и в условиях относительной обеспеченности жизненными ресурсами на заключительной стадии развития первобытнообщинного строя, но теперь уже совсем по другим причинам. Там, где усиление военной активности привело к превращению грабительских войн в постоянный промысел, произошла переоценка ценностей, и мужчины, уже непригодные для военных действий, подчас стали рассматриваться как социально бесполезные. Так, в частности, обстояло дело у

³ Калиновская К. П. Возрастные группы народов Восточной Африки. Структура и функции. М., 1976.

⁴ Подробнее см.: Токарев С. А. Ранние формы религии и их развитие. М., 1964, гл. 9.

древних племен восточноиранского мира. О скифах сообщалось, что старики не внушают им почтения, а родственные им массагеты и сарматы стариков попросту убивали. Об аланах известно, что они сбрасывали своих стариков в пропасть, и отголоски этого древнего воинственного обычая сохранились в героическом эпосе осетин, одно из сказаний которого посвящено одряхлевшему славному воину Урызмагу, ждущему смерти от руки молодых нартов.

Наконец, этнографии известен и ритуальный геронтоцид. В некоторых предклассовых (иногда также раннеклассовых) обществах, обожествлявших своего правителя, его одряхление рассматривалось как утрата им благодати, харизмы. Тогда он умерщвлялся, чтобы освободить престол новому сакральному правителю.

Существовали также различные пережитки этого порядка: ритуальное символическое умерщвление фараона на особом празднике Хеп-Сед в древнем Египте, умерщвление специально для этого избравшегося временного царя в древней Вавилонии и др.

Однако все эти ситуации — экстремально-экологическая, гипертрофированно-милитаристическая, утрированно-ритуалистическая — были не правилом, а исключением. Если бы дело обстояло не так, то в языках великого множества народов мира именно к слову *старый* или *старик* не восходили бы слова *старший*, *глава*, *советник*, *господин*, а равным образом многочисленные почтительные обращения. Сопоставим хотя бы лат. *senex* (старый) и ставшее почти международным слово *сенатор*; русск. *старый* и *старшина*, *старейшина*, *староста*; нем. *alt* (старый) и *Altteste* (староста); англ. *old* (старый) и *olderman* (советник); лат. *senior* (старший) и итал. *signiore*, франц. *Monseigneur*, *monsieur* и *sire*, англ. *sir* и т. д. За пределами Европы так же обстоит дело с тюрк. *ага* (ака) — старший брат и господин, начальник; араб. *шейх* — старик и предводитель, глава и т. п. Сколько-нибудь полный перечень подобного рода примеров занял бы не одну страницу.

СУДЬБЫ ГЕРОНТОТИМНОЙ ТРАДИЦИИ

Характерной особенностью политического строя докапиталистических классовых обществ была институционализованная наследственная власть (значительно реже — полудемократия-полуолигархия античного или иного типа). Такая власть могла пере-



Верхняя часть третьего футляра мумии Тутанхамона. Тутанхамон под именем Тутанхатона вступил на престол в возрасте 12 лет, в 1400 г. до н. э. и умер, не дожив до 20 лет. Тем не менее он изображен «под старца», с бородой из полудрагоценных камней.

даваться молодым, даже несовершеннолетним государям, выступавшим в данном случае в качестве своего рода представителя референтной группы для всего населения. Однако даже в подобных условиях геронтоимная традиция, хотя и ослабела, но не исчезла совсем, а в некоторых обществах, особенно в раннеклассовых и восточных, продолжала оставаться очень заметной. Причиной этому в одних случаях была сама инертность традиции, органически присущее ей стремление к остаточной жизни⁵, в других — сохранение в недрах докапиталистических классовых обществ патриархального семейного и общественного уклада.

⁵ См.: Першиц А. И. Остаточные явления в культуре. — Природа, 1982, № 10, с. 92.



Китаец почтительно кормит престарелого отца. Прорисовка с барельефа III в. до н. э.

Под раннеклассовыми обществами чаще всего понимают общества послепервобытные, т. е. пришедшие на смену непосредственно первобытно-общинному строю. Это общества дальневосточные, античные (на начальных ступенях их развития) и раннефеодальные. Естественно, что в таких обществах большую роль еще играли многие институты и порядки предклассовой эпохи, в частности патриархальные большие семьи, патронимические и даже патриархально-родовые союзы. Соответственно очень крепкой оставалась власть, которая была сосредоточена в руках патриархов. Из них же на первых порах часто составлялись и органы политической власти.

Именно так обстояло дело, скажем, в ахейской Греции, где, судя по «Илиаде», функции верховного органа власти выполняла корпорация геронтов-басилеев, диктовавших свою волю царям и военачальникам — Агамемнону, Приаму, Гектору и т. д. В Риме периода первых царей рядом с ними активно действовал сенат — совет родовых старейшин, именовавшихся старцами или отцами. Да и сами древние цари нередко рядились под старцев, включая, например, в свое парадное одеяние привязную бороду. Так, когда в древнем Египте в конце Древнего Царства (середина III тысячелетия до н. э.) стало принято брить лицо, фараоны во время определенных церемоний привязывали себе бороды. Искусственная борода была непременным атрибутом и погребального облачения фараонов: ведь считалось, что после смерти они превращаются в бога Осириса,

а египетские боги не мыслились без бороды.

В семейном и общественном быту раннеклассовых, а на Востоке и более поздних докапиталистических обществ патриархальные принципы геронтоимии держались довольно долго. В древнеиндийских законах Ману, приписываемых легендарному прародителю людей и составленным в III в. до н. э., не только предписано приветствовать старших вставанием, но и запрещено пользоваться их ложем или сиденьем. В обычном праве китайцев едва ли не важнейшее место занимает принцип сяо — безоговорочного подчинения старшим, почитания родителей и, шире, старших вообще. Может быть, ни в одном другом классовом обществе этот принцип не соблюдался так неукоснительно, как в старом Китае: в литературе даже не раз высказывалось мнение, что именно сяо, распространившись на все достояние старины, стало одной из причин застоя и оцепенения старокитайского общества. Однако в той или иной степени геронтоимические установки и представления законсервировались практически у всех народов Южной и Восточной Азии, включая и современную Японию с ее поистине уникальным сплавом капиталистических порядков и докапиталистических традиций.

Как и в патриархальных обществах доклассовой эпохи, эти принципы продолжали закрепляться и освящаться культом семейно-родовых предков. У древних римлян до самого конца Империи удерживался культ ларов и манов — духов и богов-покровителей, отождествлявшихся с умершими главами семей, патронимий и родов (в последнем случае совпадавших с эпонимами, т. е. с легендарными родоначальниками, давшими имена римским фамилиям Юлиев, Клавдиев и др.). Древнееврейский культ таких предков-патриархов,

как Авраам, Исаак и др., запечатлен в «священных книгах», и до сих пор отзвуки его есть в иудаизме, христианстве и исламе. Древнекитайский культ предков семейно-родственных групп, а на государственном уровне — императорских предков наряду с сям стал одной из важнейших заповедей этической и религиозной системы конфуцианства. «Если государю следует предпринять важное дело, он должен отправиться сперва в храм своих предков, чтобы уведомить их о том, что он хочет сделать», — предписывает одно из конфуцианских сочинений⁶.

Сильнейшая геронтоимная традиция во всех ее проявлениях — от социально-политических и идеологических до этических — надолго удержалась также в тех раннеклассовых обществах, историческая эволюция которых была неизбежно ограничена неблагоприятными природными условиями и связанной с ними хозяйственно-культурной спецификой. Это — общества кочевых или полукочевых скотоводов и горных скотоводов-земледельцев, в своем спонтанном развитии не перешагнувших рубежа патриархально-феодалных отношений. Проблемы социально-политического строя таких обществ, в особенности первых из них, давно уже обсуждаются в историко-этнографической литературе как проблемы «кочевого» и «горского» феодализма⁷. В настоящее время большинство исследователей склонно видеть особенности обоих этих вариантов феодализма в преобладании или высоком удельном весе пастбищного скотоводства, затруднявшего политическую централизацию и способствовавшего сохранению примитивных форм внешнеэксплуататорской деятельности (военный грабеж и данничество). В результате, социальная верхушка была вынуждена искать опору в общинно-патронимической, а зачастую и в родоплеменной организации кочевников и горцев, консервируя эти формы и тормозя развитие внутренней эксплуатации. Отсюда исключительная устойчивость в подобных обществах патриархального уклада и патриархальной власти глав семейно-родственных групп, которыми были их старшие члены. И отсюда, в свою очередь, на-

столько выраженная, даже гипертрофированная геронтоимия, что один из современных исследователей этнической психологии кавказских горцев счесть возможным выделить в ней комплекс черт, который он назвал «культом старших»⁸.

ГЕРОНТОИМИЯ И ДОЛГОЖИТЕЛЬСТВО

Как известно, народы развитых стран Земли «постарели». Средняя продолжительность жизни в Европе с начала нынешнего столетия повысилась с пятидесяти до более чем семидесяти лет, т. е. почти в полтора раза. Однако долгожителей, к которым обычно относят людей не моложе девяноста лет, и теперь очень немного. Больше того. Поскольку долгожители сосредоточены главным образом в сельской местности, а планету захлестывают процессы урбанизации, доля долгожителей с каждым десятилетием уменьшается. Поэтому можно понять, почему ученые самых разных специальностей — биологи, медики-геронтологи, психологи, антропологи, этнографы — обратили пристальное внимание на народы, у которых выявлена повышенная доля долгожителей. Больше всего таких народов обитает в нашей стране, преимущественно в горных районах — на Кавказе, в Припамирье. Лидируют среди них балкарцы, абхазы и ингуши, за которыми с небольшим отрывом следуют другие народы гор и предгорий.

Долгожительству как комплексной биолого-антропологической и социально-этнографической проблеме посвящена значительная специальная и научно-популярная литература⁹. Выдвинуто несколько предположений, почему у какой-то части народов образовались своего рода «сгустки» долгожительства. Эти предположения в общем сводятся в три группы: экологическую, генетическую и психолого-этнографическую. Экологическая группа гипотез, казалось бы, лежит на поверхности: поскольку долгожительство выявлено преимущественно в горных районах, оно связано с особо благоприятными условиями жизни в горах. Но замечено, что некоторые долгожительские народы остались

⁶ Георгиевский С. Принципы жизни Китая. СПб, 1888, с. 91.

⁷ См.: Першиц А. И. Некоторые особенности классового и раннеклассовых отношений у кочевников-скотоводов. — В кн.: Становление классов и государства. М., 1976, с. 280; Робакидзе А. И. — Сов. этнография, 1978, № 2, с. 15.

⁸ Чомаев К. И. Дореволюционные черты этнической психологии горских народов Северного Кавказа. — В кн.: Вопросы национальной психологии. Черкесск, 1972, с. 130.

⁹ См.: Феномен долгожительства. Антрополого-этнографический аспект исследований. М., 1982; Козлов В. И. Долгожительство и долгожители. — Природа, 1980, № 7, с. 91.

такowymi и после переселения на равнину, а недоолжительские группы населения не стали долгожительскими, поселившись в горной местности. Поэтому экологические гипотезы «не работают» в отрыве от генетических, согласно которым в определенных группах населения закрепились некие гены жизнестойкости. А так как многие особенности психики могут передаваться по наследству, к генетическим гипотезам тесно примыкают психологические, делающие упор на адаптационных особенностях личностной психики или на социально-психологических механизмах снятия стрессовых состояний.

Этнографические гипотезы (трудовая, пищевая и в особенности геронтохимная), примыкая к психологическим, на первый взгляд все же стоят особняком. Но, может быть, и они или по крайней мере одна из них — геронтохимная — составляют неотъемлемую часть той цепи гипотез, начальным звеном которой является предположение о связи долгожительства с условиями жизни в горах.

Смысл геронтохимной гипотезы долгожительства состоит в том, что почитание стариков способствует продлению их жизни. Идея выглядит довольно банальной: не нужны особые научные исследования, чтобы понимать, насколько приятен для старых людей моральный климат геронтохимии и, напротив, неблагоприятна атмосфера нравственного геронтоцида. Между тем такие исследования ведутся и представляются продуктивными как раз потому, что их результаты могут быть подключены к той же логической цепи. В этой связи надо рассмотреть два вопроса: как реализуется геронтохимная традиция в быту горских народов и почему именно у горских народов эта традиция сопряжена с долгожительством. По первому из этих вопросов воспользуемся данными одного из самых долгожительских народов — абхазов, геронтохимные аспекты долгожительства которых один из авторов данной статьи изучал непосредственно¹⁰.

В недалеком прошлом у абхазов еще имелось немало патриархальных больших семей. Теперь таких семей почти нет, но разделившиеся семьи обычно сохраняют

локальное и отчасти бытовое единство, так как дома женатых сыновей располагаются подле отцовского (называемого «большим») дома. Если отца нет в живых, «большим» становится дом старшего брата или другого близкого старшего родственника. Жива у абхазов и патронимическая организация, обеспечивающая тесную связь между значительной группой родственных семей, которые ведут свое происхождение от общего памятного предка.

Глава большой семьи или «большого дома» — старший мужчина, их женской части — старшая женщина. В патронимии также имеются свои руководители — как правило, старшие мужчина и женщина. Им принадлежат все основные организаторские роли. В прошлом в большой семье они распределяли хозяйственные работы и следили за их выполнением, решали важнейшие вопросы семейной жизни, надзирали за поведением других членов семьи, отправляли семейные культы, представляли семью за стенами дома. С распадом больших семей хозяйственно-организаторские роли старших практически отпали, но все другие в той или иной мере сохранили свое значение, так как члены «большого дома» продолжают ощущать себя единой семьей. Точно так же главы патронимий, опираясь на традиционные советы, составленные из старших членов семей, руководят родственной взаимопомощью, разрешают споры, отправляют еще сохранившиеся патронимические культы.

Таким ролям старейших соответствуют их высокие статусы. Так, о былом статусе старшего мужчины — главы большой семьи — можно судить по тому, что после его смерти дом символически стягивали веревкой, «чтобы он не рухнул». И ныне старшим членам семьи «большого дома», патронимии выказывают подчеркнутые знаки внимания. В их присутствии не положено лежать, сидеть, вести громкие или фривольные разговоры, появляться небрежно одетыми, курить. Уважение к ним демонстрируется и такими услугами, как помощь при мытье рук и ног, при отходе ко сну. По отношению к старшим, особенно к старшим мужчинам, у абхазов выработан самый изощренный этикет, цель которого в том, чтобы старший всегда чувствовал себя уважаемым, первым, главным. В результате у абхазов престиж преклонных лет настолько велик, что наблюдается умышленное завышение мужчинами своего возраста, в связи с чем в этнографии предложена концепция социального долгожительства, не совпадающего с био-

¹⁰ Смирнова Я. С. — Сов. этнография, 1982, № 5, с. 40; Она же. Роль старших возрастных групп в абхазской фамильно-патронимической организации. — В кн.: Фономен долгожительства, с. 50.

логическим¹¹. Она хорошо объясняет, почему реальных долгожителей после верификации специалистами их возраста оказывается меньше, чем номинальных, но, разумеется, не лишает значения сам феномен подлинного долгожительства.

Высокие статусы старших порождены их выдающимися активными ролями. Однако стоявшие статусы приобретают определенную автономию и, в свою очередь, воздействуют на эти роли. Соотношение тех и других правильнее представить не как одностороннюю причинно-следственную связь, а как двустороннюю. И для понимания геронтотимии как фактора долгожительства важно знать, в какой мере сохраняются у абхазов высокие статусы стариков, когда они, одряхлев, начинают утрачивать свои роли.

У абхазов существуют две старших возрастных категории: атахмады и абырги у мужчин, атакужи и апхысбырги у женщин. Атахмады и атакужи — это собственно старики семидесяти-восьмидесяти лет, как правило, уже не очень активные. Абырги и апхысбырги — от пятидесяти лет — еще полностью активны. Возрастные градации здесь не очень жестки и в обыденном сознании сопряжены с интеллектуальной и социальной полноценностью человека. Престарелый, но хорошо сохранившийся атахмада может быть назван и абыргом, а вконец одряхлевшего атахмаду за глаза могут обозвать алыгажем, старикашкой.

Двусторонняя связь ролей и статусов проливает свет, с одной стороны, на вопрос о фактическом лидерстве старших возрастных групп у абхазов, с другой — на социально-бытовое положение глубоких стариков. При прочих равных или почти равных условиях атахмада всегда имеет преимущество перед абыргом, а атакуж — перед апхысбырг. Но это правило действует лишь в разумных пределах. Если атахмада превращается в алыгажа, то он уступает фактическое лидерство другому, младшему по возрасту атахмаде или абыргу. Случается это нечасто: в 85 % обследованных в 1983 г. абхазских сельских семей старший мужчина не только считался главой семьи, но и был им в действительности. Однако если это и случается, то старику или старухе, оказавшимся не у дел, никак не дают почувствовать их нового положения. Совсем напротив: с ними ста-

новятся еще почтительнее, а новый фактический лидер даже создает видимость того, что действует от имени и по полномочию самого старшего. К тому же за самыми старшими почти всегда остаются культовые функции, которые они могут выполнять, не покидая стен дома или ограды двора.

Таким образом, при всех вносимых жизнью поправках к геронтотимной традиции последняя еще жива. Активные роли старших, в том числе самых старших, возрастных групп и еще более длительное сохранение ими высоких статусов создает тот общий социально-бытовой фон, который способствует их жизненному самодержавию, а с ним и долголетию.

Второй вопрос — о связи долгожительства с геронтотимной традицией именно у горных народов — более сложен и не может быть решен в рамках одной только геронтотимной гипотезы. Здесь нужен сравнительно-исторический подход, и прежде всего сопоставление горских обществ с другими, в не меньшей степени сохранившими остатки патриархального быта, — с обществами кочевых и полукочевых скотоводов. У бедуинов Аравии и туарегов Сахары, кочевников и полукочевников Средней и Центральной Азии старики пользуются таким же почетом, как у горцев, но сколько-нибудь заметных «сгустков» долгожительства у них не обнаружено. Отсюда напрашивается вывод, что геронтотимия — не основной и самодостаточный, а лишь дополнительный фактор повышенной доли долгожительства. Там, где, как в горных районах, благоприятная экология и «задействованные» ею генетические механизмы способствуют долголетию, геронтотимная традиция вносит свою лепту в данный феномен. Там же, где, как в степях и пустынях, природные условия недостаточно благоприятны или прямо неблагоприятны, рассматриваемая традиция сколь-либо ощутимо не «срабатывает».

Предложенная поправка к геронтотимной гипотезе факторов долгожительства, в свою очередь, является только гипотезой. Но одно представляется несомненным. При дальнейшем исследовании этнографических аспектов феномена долгожительства должны быть учтены не только горские, но и «контрольные» сравнительно-этнографические данные.

¹¹ Крупник И. И. Структурно-генеалогическое изучение абхазского долгожительства. — В кн.: Феномен долгожительства, с. 59.

Сынныриты — новое комплексное сырье

А. Я. Жидков



Александр Яковлевич Жидков, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Всесоюзного научно-исследовательского геологического института им. А. П. Карпинского Министерства геологии СССР. Занимается проблемами происхождения и использования щелочных пород восточной части СССР.

В наше время, когда геологическая изученность поверхности Земли высока, каждая новая находка вида или даже разновидности горных пород — явление достаточно редкое. В петрографии, науке о составе и происхождении горных пород, существуют давно установленные и хорошо изученные ряды и серии, выявить «вакантные» места в которых казалось практически невозможно. Тем не менее нам удалось обнаружить новый вид пород, получивших название «сынныриты»¹.

В начале 60-х годов мы работали в Северном Прибайкалье на Сыннырском хребте, в течение нескольких лет проводя геологические исследования и картирование Сыннырского плутона. Этот плутон — огромное магматическое тело диаметром около 25 км, сложенное глубинными породами с высоким содержанием щелочных металлов, и особенно калия. В природе подавляющее большинство подобных массивов образовано в основном нефелиновыми сиенитами, состоящими из полевых шпатов и нефелина ($\text{Na}_3\text{KAl}_4\text{Si}_4\text{O}_{16}$) — натриевого алюмосиликата, служащего сырьем для получения алюминия. Однако при детальном изучении сиенитов Сынныр-

ского плутона оказалось, что некоторые из них состояли из ранее неизвестной минеральной ассоциации: кальсилита KAlSiO_4 — калиевого аналога нефелина и калишпата (KAlSi_3O_8). Количество калия в этих породах оказалось необычайно высоким — 17—21 % K_2O , столь же высоко было содержание глинозема — 22—23 % Al_2O_3 .

Кальсилитовые сиениты — сынныриты — не только внешне, но и под микроскопом почти неотличимы от широко распространенных и детально описанных нефелиновых сиенитов. Входящие в состав этих пород кальсилит и нефелин различаются только точными методами исследований — рентгенометрическим, микрозондовым и другими. Именно поэтому сынныриты принимали за нефелиновые породы. Стало ясно, что сынныриты могут быть обнаружены и в других уже изученных щелочных массивах. И действительно, довольно скоро месторождения и проявления этих пород были найдены в щелочных массивах Восточной Сибири разного возраста — Сакунском, Мурунском и Якшинском. В последующие годы география открытий сынныритов расширилась: они были обнаружены за рубежом — в Западной Аляске, и в нашей стране — в Хибинском щелочном массиве, превосходно изученном за пятьдесят лет эксплуатации апатитовых месторождений.

¹ Жидков А. Я. — Доклады АН СССР, 1963, т. 152, № 2, с. 414.

Однако наибольшее значение сынныриты имеют именно для восточных районов страны, где, во-первых, отсутствует сырьевая база для производства бесхлорных калийных удобрений, а во-вторых, ощущается острый дефицит в алюминиевых рудах. Поэтому в рамках региональной научно-исследовательской программы «Сибирь» СО АН СССР была создана программа «Сынныриты» и межведомственная комиссия, координирующая разносторонние исследования, в которую входят геологи, технологи, агрохимики, экономисты и другие специалисты.

Что же представляют собой сынныриты с петрографической точки зрения?

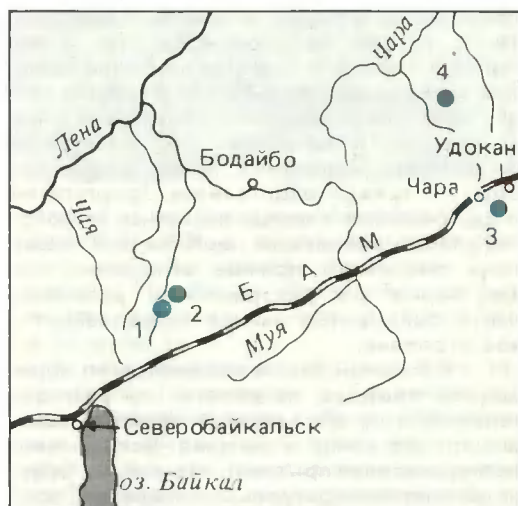
КАЛИЕВАЯ ВЕТВЬ ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД

Сынныриты — горная порода, состоящая в основном из кальсилит-калишпатовой ассоциации, в которой кальсилит, относящийся к весьма редким и даже неизвестным ранее в нашей стране природным соединениям, выступает в роли одного из главных породообразующих минералов. С ним комбинируются другие хорошо известные минералы — нефелин, пироксены, слюды, гранаты и другие. Структура и текстура, отражающие строение и пространственное распределение составных частей породы, также многообразны: они бывают мелкозернистые и крупнозернистые, массивные, полосчатые и т. п. Все это свидетельствует о том, что здесь мы имеем дело, по-видимому, не только с отдельным видом горной породы, а с целым семейством кальсилитовых сиенитов, подобным давно выделенному семейству нефелиновых сиенитов.

По минеральному составу сынныриты не имеют аналогов среди известных интрузивных (глубинных) пород. Поэтому при определении их положения в систематике щелочных пород они оказались за пределами существовавших классификационных рамок. Сынныриты «наращивают» калиевую ветвь так называемым ультракалиевым звеном (до 21 % K_2O) и указывают на возможное ее продолжение в предполагаемую область предельно калиевых или суперкалиевых (с 22—28 % K_2O) кальсилитовых пород, условно названных нами всегитами, по краткому названию нашего института — ВСЕГИИ.

Группа кристаллических щелочных пород насчитывает несколько десятков главных видов, представленных устойчивой и закономерной ассоциацией минералов.

С учетом открытия породообразующего кальсилита все это многообразие может быть выведено из четырех компонентов — щелочных полевых шпатов, цветных минералов (пироксены, амфиболы, биотиты), нефелина и кальсилита. Каждый из них составляет основу своего сообщества-семейства и связан постепенными переходами с другими. В результате образуется классификационная модель, на которой, во-первых, очерчиваются реально существующие конечные члены и непрерывные серии щелочно-полевых шпатов, щелочно-пироксено-



Щелочные массивы Восточной Сибири, содержащие сынныриты: 1 — Сыннырский, 2 — Якшинский, 3 — Сакунский, 4 — Мурунский.

новых и нефелиновых пород; во-вторых, находят свое место ставшие теперь известными кальсилит-калишпатовые сынныриты, а также кальсилит-пироксеновые породы якутиты, открытые в 1982 г. А. А. Коновым в Мурунском массиве на юге Якутской АССР; в-третьих, вычитываются «недостающие» виды и разновидности кальсилитовых пород. Так как калиевая кальсилитовая ветвь является своего рода зеркальным подобием натриевой нефелиновой, то каких-либо особых петрологических «барьеров» на пути практической реализации предлагаемой модели, видимо, не существует. Кальсилит, аналогично нефелину, является самостоятельным химическим соединением и принадлежит к числу породообразующих. Как и для нефелина, установлены его ассоциации с щелочными

полевыми шпатами, пироксенами, слюдами, гранатами и другими минералами. Вот почему мы считаем, что находки новых видов кальсилитовых пород — дело времени, нужны лишь тщательные поиски и детальные минералого-петрографические исследования.

Сынныриты подводят нас вплотную к решению еще одного весьма важного в петрологии научного вопроса. В 1891 г. Дж. Вильсон впервые обнаружил в нефелиновых сиенитах в Арканзасе сростки кристаллов, имеющих форму кристаллов минерала лейцита — $KAlSi_2O_6$. Однако они состояли из агрегата нефелина и калишпата, т. е. тех же минералов, что и вся порода. Такие образования получили название «псевдолейциты». Позже они были найдены во многих щелочных провинциях мира в больших количествах, что послужило основанием выделения новых видов пород — псевдолейцитолитов, фергуситов и др. Возникла хорошо известная в геологии «псевдолейцитовая проблема». К нашей теме она имеет прямое отношение, так как самые распространенные разновидности сынныритов имеют псевдолейцитовое строение.

К этой проблеме неоднократно обращались ведущие петрологи, но разгадка генезиса этих образований остается нерешенной до конца и сегодня. Большинство исследователей признает, что лейцит, будучи высокотемпературным минералом, кристаллизуется из расплава первым и в дальнейшем преобразуется в результате взаимодействия с остаточным расплавом.

С открытием сынныритов впервые за столетнюю историю псевдолейцитовой проблемы были найдены кальсилит-калишпатовые псевдолейцитовые кристаллы и даже мономинеральные псевдолейцитолиты, полностью соответствующие химическому составу природного лейцита — 18—21 % K_2O , менее 1 % Na_2O , 23 % Al_2O_3 , 55 % SiO_2 . Не вызывало сомнения, что первичный лейцит здесь не мог вступить в реакцию с остаточным расплавом, так как он имеет тот же состав, что и лейцит, либо вовсе отсутствует. Следовательно, переход лейцита в псевдолейцит происходил только в результате самопроизвольного распада. Наблюдения над природными псевдолейцитами показали, что в зависимости от химического состава первичного лейцита при его распаде образуются различные ассоциации минералов.

Все это привело нас к выводу о существовании правила неустойчивости лейцита. Лейцит независимо от химического

состава и присутствия остаточного расплава в условиях равновесной кристаллизации магмы неустойчив и претерпевает распад с образованием псевдолейцита. В зависимости от содержания в лейците примеси натриевого компонента он переходит в кальсилит-нефелин-калишпатовый агрегат с переменным соотношением минеральных фаз. Температура реакции распада оценивается в $1000^\circ C$ и зависит в основном от парциального давления воды. Это согласуется с экспериментальным моделированием непрерывного натрий-калиевого ряда лейцитовых кристаллов.

Более того, наблюдаемые пластически деформированные псевдолейцитовые кристаллы, а также установленные факты образования лейцитов и псевдолейцитов переменного состава проливают свет на важную роль, которую, по-видимому, играет лейцит как промежуточная фаза в образовании пород различной щелочности. Имея высокую температуру начала кристаллизации ($1685^\circ C$) и обладая совершенной пластичностью, лейцитовые шары — глобулы, словно пузыри, выдавливаются в верхние уровни зарождающихся магматических систем. Этот механизм, надо полагать, — один из важных механизмов переноса щелочей и глинозема в магматических очагах верхней мантии на глубине более 80 км. Судьба лейцита полностью зависит от физических условий и динамики развития процесса: в случае быстрого выхода магмы на поверхность лейцитовые кристаллы сохраняются в лаве; в условиях медленного проникновения расплава в верхние горизонты земной коры и кристаллизации его на глубине лейцит либо растворяется в насыщенной кремнекислотной магме, повышая ее щелочность, либо распадается, переходя в псевдолейцит. Во всех случаях лейцитовая фаза выполняет роль «контейнера» щелочей и глинозема. Таким образом, псевдолейцитовая проблема носит глубокий общепетрологический характер и нуждается в переосмыслении в свете новых данных, связанных с открытием сынныритов.

НОВЫЙ ИСТОЧНИК КАЛИЯ И АЛЮМИНИЯ

Помимо научного значения, как мы уже упоминали, сынныриты представляют большой практический интерес как минеральное сырье. Необходимость вовлечения их в промышленное производство обусловлена дефицитом традиционных источников калия и алюминия, содержа-



Калийное месторождение сынныритов Сыннырского массива. Эти горы на 70 % состоят из сынныритов.

щихся в сынныритах в достаточно больших количествах, реальной возможностью технологической переработки. К тому же месторождения сынныритов обнаружены недалеко от Байкало-Амурской магистрали.

Известно, что основная масса добываемого калия используется в производстве удобрений. Традиционными рудами хлорных калийных туков являются сильвинитовые соли, их запасы в стране составляют более 20 млрд т². Ресурсы солей, из которых вырабатывают бесхлорные калиевые удобрения, необходимые для выращивания хлорофобных культур — сои, citrusов, гречихи и многих других, ограничены, и промышленность вынуждена использовать относительно бедные окисью калия руды, содержащие всего 8—10 % K_2O . В перспективе бесхлорными калиевыми солями могут быть обеспечены только действующие предприятия. Причем калиевая сырьевая база страны и перерабатывающая промышленность сосредоточены в Прикарпатском, Приуральском и Прикаспийском экономических районах. Производящиеся здесь удобрения поставляют за Урал до самой Камчатки. Другими словами, обширная Сибирь и Дальний Восток пока не имеют своего сырья для создания агрохимической промышленности. Правда, в последние годы в Ангара-

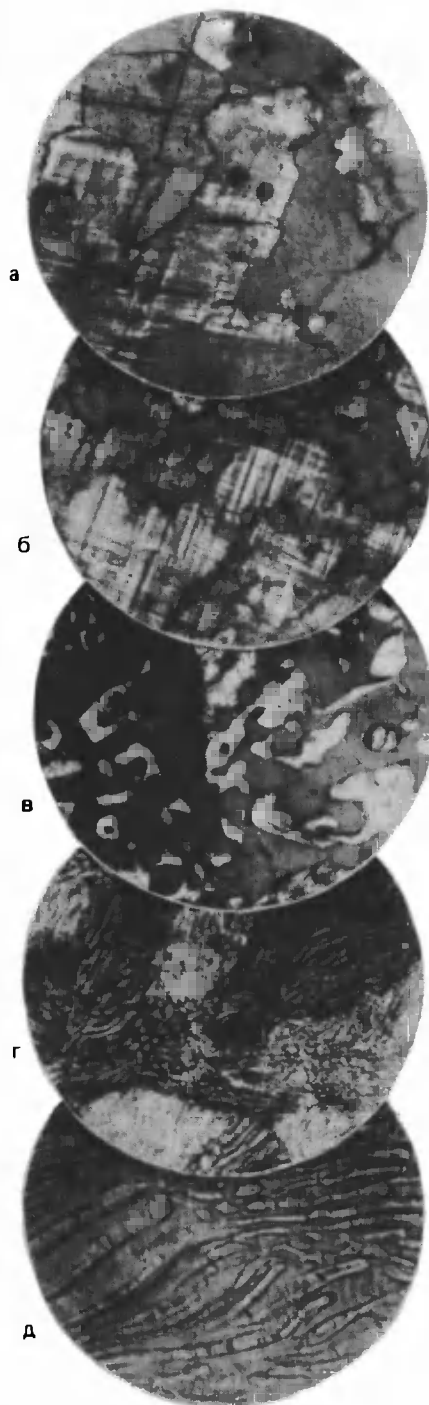
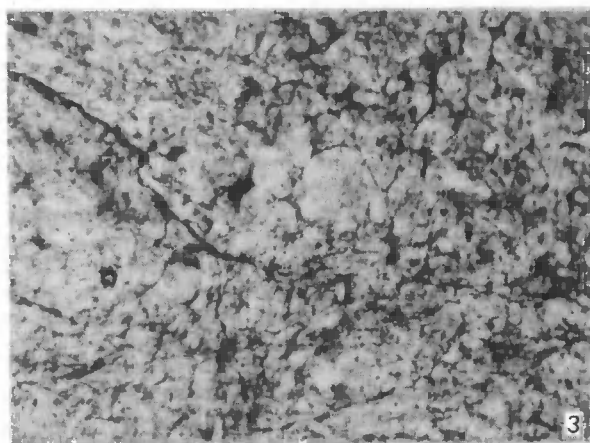
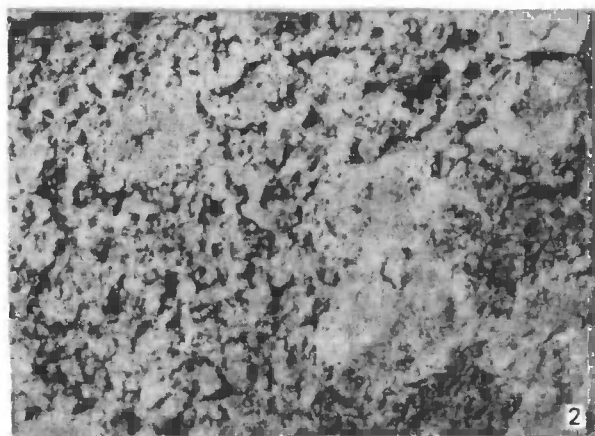
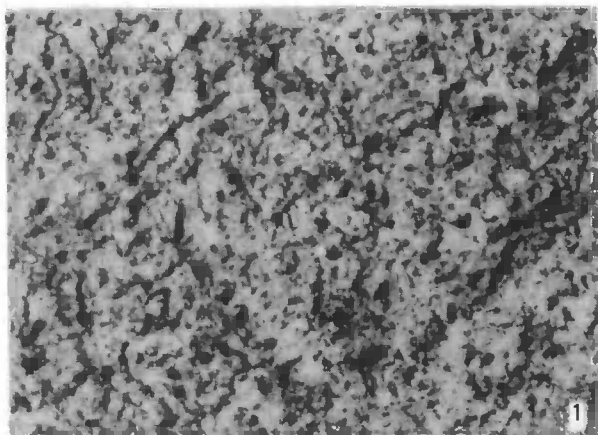
Ленском кембрийском бассейне на глубине 600—900 м обнаружен пласт хлорных калиевых солей, суммарной мощностью 10—33 м. По геолого-геофизическим данным их ресурсы оцениваются в 70 млрд т³.

Удовлетворение алюминиевого производства глиноземом — не менее актуальная проблема для Сибири. Отечественных высококачественных бокситов — главного источника глинозема — не хватает, чтобы обеспечить промышленность. К тому же от Урала до Приморья включительно еще не обнаружено крупных месторождений бокситов желаемого состава. Сложился своего рода парадокс: ресурсы энергии в Сибири огромны, а традиционное сырье для энергоемкого алюминиевого производства отсутствует. Начиная с 50-х годов наша глиноземная промышленность в числе первых в мире стала ориентироваться на небокситовые источники алюминия. Самыми перспективными оказались уже известные нам нефелины с содержанием 28 % Al_2O_3 , получаемые в виде концентрата из нефелин-апатитовых руд Хибин, и богатые нефелином (до 80—95 %) породы — уртиты, крупные месторождения которых в освоенных восточных регионах страны, к сожалению, редки. Поэтому до сих пор алюминиевые заводы Сибири продолжают работать на привозном (в том числе импортном) сырье.

По мнению многих специалистов, из всех известных нетрадиционных типов

² Критерии прогнозной оценки территории на твердые полезные ископаемые. М., 1978.

³ Жарков М. А., Мерзляков Г. А., Яншин А. Л. Открытие калийных солей в Сибири. — Природа, 1982, № 7, с. 6.



Макро- и микроскопические разновидности сынныритов. Слева — фотографии образцов в натуральную величину: 1 — зернистые, 2 — псевдолейцитовые, 3 — псевдолейцитолитовые, состоящие на 90 % из псевдолейцита. Справа — фотографии микроструктур: а — зернистая с решетчатым микроклином и серым кальсилитом [увел. 25]; б — пойкилитовая, в которой неправильные зерна кальсилита включены в кристаллы микроклина [увел. 25]; в — графическая с вростками светлого кальсилита в калишпате [увел. 50]; г — перистая с вростками кальсилита в калишпате [увел. 40]; д — деталь перистой структуры, в которой кальсилитовые «нити» толстой в несколько десятков микрон, пронизывают калишпатовую матрицу [увел. 150].

минерального сырья только сынныриты могут существенно облегчить решение проблемы, если на основе их переработки будет создан крупномасштабный промышленный комплекс по производству бесхлорных калиевых удобрений, глинозема с попутным извлечением других компонентов⁴.

С геолого-экономической точки зрения, ценность минерального сырья определяется многими параметрами — качеством руд, масштабом месторождений, условиями залегания, экономикой технологии переработки, конъюнктурой и себестоимостью производства продуктов.

Сынныриты не нуждаются в предварительном обогащении. Содержание в них кальсилита и калишпата составляет 90—95 %, а сумма главных рудных компонентов — окиси калия (в среднем 17,5 %) и глинозема (в среднем 22,5 %) — равна 40 % массы всей породы. Около 55 % приходится на долю кремнезема, также являющегося ценным продуктом производства, и только 5 % примеси составляют окислы железа, кальция, магния и др. Кроме того, они отличаются высоким содержанием извлекаемого рубидия. Таким образом, сынныриты — комплексные руды, что обеспечивает высокую рентабельность их переработки.

В Сыннырском щелочном массиве основная масса сынныритов высокого качества сосредоточена во внутренней кольцевой зоне, включающей несколько месторождений, выходящих на поверхность. Среди них Калюмное является уникальным: прогнозные ресурсы залежей, вскрытых горными ручьями до глубины 400 м, оцениваются в несколько миллиардов тонн 40 %-ной алюмокалиевой руды. Кстати сказать, именно здесь были обнаружены первые сынныриты.

Сынныриты являются «межотраслевым» сырьем. Дело в том, что по содержанию глинозема они уступают нефелиновому концентрату, а оценка «калиевых достоинств» сырья затруднялась тем, что калиевая промышленность базируется на солях. Однако и химики, и технологи, занимающиеся этой проблемой сегодня, предусматривают получение из сынныритов калийных удобрений, глинозема с попутным извлечением кремнистых продуктов и других компонентов при максимальной безотходности производства.

Московские, сибирские и дальневосточные агрохимики вот уже несколько лет заняты испытаниями разнообразных простых и сложных форм калийных удобрений, изготовляемых из сынныритов. Ими получены весьма обнадеживающие результаты. Изучается вариант внесения в почву тонкоизмельченного активированного сыннырита. Дело в том, что кальсилит легко растворяется органическими и другими слабыми кислотами почв, а освобождающийся калий усваивается растениями.

После магнитной сепарации тонкоизмельченных сынныритов получен кальсилит-калишпатовый концентрат, пригодный в керамической и электрокерамической промышленности в качестве заменителя дорогостоящего и дефицитного калиевого полевого шпата.

И, наконец, о расположении месторождений сынныритов. Сыннырская группа находится в стороне от трассы БАМ. Однако имеется несколько доступных вариантов прокладки железнодорожной ветки, соединяющей Сынныр с магистралью. Наиболее благоприятное положение у Голевского месторождения Сакунского массива, отстоящего всего на 28 км от железнодорожной станции Хани и связанного с ней пока временной автодорогой.

В настоящее время по заданию Государственного комитета СССР по науке и технике и Госплана СССР проводится всестороннее изучение сынныритов, направленное на решение проблемы их практического использования. В обозримом будущем при формировании Байкало-Амурского индустриального пояса месторождения Сакунского и Сыннырского массивов будут вовлечены в народное хозяйство.

Что касается расширения географии месторождений сынныритов в нашей стране, то, по нашему мнению, наиболее перспективны районы, где имеются калиевые щелочные массивы, — Алдан, Казахстан, Средняя Азия, север Сибири и Дальний Восток.

⁴ Аганбегян А. Г. — Коммунист, 1985, № 15, с. 34.



«Нематода Бреннера» — уникальная модель для изучения нервной системы

Психолог А. И. Куликов из Москвы пишет:

В последние годы на страницах специальных журналов, выходящих за рубежом, появились краткие сообщения об интересной работе английских биологов. В них говорилось об изучении нервной системы «нематоды Бреннера», позволяющем по-новому взглянуть на ход формирования мозга. Хотелось бы познакомиться с результатами этой работы.

Работа мозга в значительной степени определяется врожденными механизмами. Объясняется это тем, что многие из его клеточных ансамблей имеют жестко запрограммированную геномом архитектуру, т. е. внешние и внутренние связи, подключение определенных типов клеток и т. д. Поэтому и «специальность» у них постоянная и узкая. Разобравшись в том, как такие ансамбли возникают в онтогенезе, можно приблизиться к пониманию того, как они, да и мозг в целом, функционируют. Формирование основных структур мозга млекопитающих в эмбриональном развитии изучено довольно подробно. Теперь же появились условия для выяснения и генетических механизмов этого процесса.

В 1960 г. такую задачу поставил перед собой Сидней Бреннер, сподвижник Ф. Крика и других выдающихся биологов, совершивших «генетическую ре-

волюцию» в 60-х годах. С самого начала работы С. Бреннер и его коллеги из Кембриджской лаборатории молекулярной биологии (Великобритания) понимали, что изучать принципы генетического контроля над строительством мозга надо на нервной системе очень простого животного. Только здесь возможно проследить за происхождением каждой клетки (нейрона). Изучив же клеточный уровень становления нервной системы, можно понять, как отдельные гены через регулируемые ими нейрохимические процессы управляют созреванием и дифференцировкой нейронов, объединением их в функциональные системы. Таков путь к созданию целостной картины развития мозга.

В качестве объекта исследования С. Бреннер выбрал круглого червя — почвенную нематоду (*Caenorhabditis elegans*). Срок ее жизни всего 3,5 дня, и размер невелик — 1 мм; благодаря работам С. Бреннера и его сотрудников, нервная система *C. elegans* и ее формирование в онтогенезе стали наиболее изученными во всем животном царстве.

Эти нематоды бывают только гермафродитами и самцами; у последних нервная система содержит 79 нейронов больше и исследована она не столь полно, как нервная система нематод-гермафродитов. 302 нейрона гермафродита почвенной нематоды подразделяются на 118 морфологически различных типов. Они образуют спинной и брюшной нервные тяжи, головной и хвостовой ганглии и окологлоточное скопление нервных окончаний. Исследователи установили постоянное место каждой нервной клетки в этой

системе, траектории миграции клеток-предшественников при развитии организма нематоды и буквально всю клеточную генеалогию, начиная с оплодотворенного яйца.

Изучены функции большинства нейронов, определены их медиаторы и установлены связи, которые даже у такой крохи, как *C. elegans*, оказались непростыми: это около 7000 синапсов (т. е. специализированных структур для передачи электрического возбуждения между нервными клетками) и 600 щелевых контактов, где также передаются электрические сигналы, но оболочка нервных клеток не имеет синаптического строения. Детально исследовано и поведение нематоды: движения, хемотаксис и термотаксис (двигательные реакции под действием химических и тепловых раздражителей), кладка яиц и половые реакции самцов.

Ряд выявленных фактов несомненно интересен. Например, «мужская» нервная система возникает у нематоды из-за запрограммированной геномом гибели двух клеток, которые остаются жить у гермафродитов, а «гермафродитная» — из-за гибели четырех клеток, выживающих у самцов. Нейроны со сходными функциями могут появляться у нематоды разными путями и от разных клеточных предшественников. Более того, даже одинаковые нейроны с правой и левой стороны тела могут иметь разное происхождение! После появления животного из личинки некоторые клетки изменяют свою «специальность», скажем, управляющие мышцами нейроны становятся интернейронами, иначе говоря — пересылают импульсы от

чувствительных к двигательным нервным клеткам. Другие нейроны, непонятно почему, отводят свои отростки (аксоны) от одних клеток и присоединяют к другим.

Но главная цель кембриджских биологов состояла в том, чтобы выяснить, как гены строят мозг. Используя лазерную микрохирургию, исследователи вызывали мутации в определенных генах или убивали отдельные нейроны. В 14 генах (всего их у нематоды 2—4 тыс.) изучено 228 мутаций, после которых изменялись различные свойства двух тактильно-чувствительных нейронов. Выявлены мутации, изменяющие внутреннюю структуру этих клеток, длину и направление аксонов и т. д. Кроме того, обнаружены дефекты генов, предотвращающие запрограммированную гибель нейронов (интересно, что черви с такими мутациями выживали, не проявляя грубых нарушений поведения), и дефекты, после которых клеткам словно запрещалось замещать соседей, уничтоженных лазером. Но самой интересной оказалась мутация гена *unc-86*.

Это единственная мутация, избирательно повреждающая нервную систему нематоды. Все другие мутации затрагивали и остальные ее органы. У мутантов по гену *unc-86* изменились пути возникновения некоторых нейронов, т. е. некоторые нервные клетки порождались совсем другими последовательностями предшественников, чем у нормальных животных, а другие клетки, например два уже известных нам тактильно-чувствительных нейрона, и вообще не появлялись.

Что же прибавили нейробиологии эти эксперименты?

Они точно подтвердили, что врожденными признаками, прямо управляемыми геномом, являются: схемы возникновения зрелых нейронов из стволовых клеток, направление их основных аксонов, возможность для некоторых из них брать на себя роль погибших соседей, запрограммированная гибель части нейронов. Следовательно, открывается реальная возможность изучения каждого из этих процессов уже на уровне регулирующих их генов и нуклеотид-

ных последовательностей в генах.

Не менее интересно и выявление у нематоды «узаконенного беззакония» в происхождении нейронов. Для каждой отдельной клетки путь возникновения от стволовой до зрелой формы строжайше предопределен генами. Но при этом для членов однородных по строению и функции нейронных ансамблей существуют различные и порой весьма прихотливые родословные. Какие-то клетки, например, гибнут в результате «запрограммированных самоубийств», другие дают начало эпидермальным клеткам и т. д.

Объяснить все эти факты пока очень трудно, но интересно, что близкие закономерности нейроонтогенеза американские исследователи Н. Спизер, К. Гудмэн и К. Доу, канадец К. Пирсон и ряд других выявили у пиявки, саранчи и дрозофилы, хотя у всех этих животных генетический контроль над строительством нервной системы изучен вовсе не так глубоко, как у нематоды.

Таким образом, «нематода Бреннера» значительно обогатила современные представления о типах развития нервной системы, основанные на концепции неизменности клеточных родословных. Эти данные могут быть использованы и для объяснения многих закономерностей нейроонтогенеза позвоночных животных, хотя в этом случае судьба нервных клеток определяется не только генеалогией, но и расположением самих клеток или их предков в пространстве формирующегося мозга зародышей.

Однако основное значение исследований носит методический характер. Дело в том, что ученым впервые удалось сфокусировать на одном объекте последние достижения практически всех основных отраслей нейробиологии: электрофизиологической, поведенческой, гистологической, генетической, нейрофармакологической, онтогенетической и других, и тем самым совместить изучение всех уровней организации мозга.

Реализация таких уникальных возможностей комплексного исследования, очевидно, уже в ближайшие годы принесет новые открытия науке о мозге.

О разделе «Новые книги» в нашем журнале

Редакция часто получает письма с вопросом, где можно приобрести ту или иную книгу, сообщение о которой помещалось в нашем разделе «Новые книги». Приходится отвечать, что редакция «Природы» не связана с книготорговыми организациями, и адресовать читателя в ближайший для него книжный магазин, или книжный магазин, имеющий отдел «Книга — почтой».

Часто читатель хочет приобрести книгу, которой уже заведомо нет в продаже: хорошие книги раскупаются быстро. Поэтому мы напоминаем читателям, что все издательства ежегодно публикуют аннотированные, оформленные в виде брошюры, тематические планы выпуска литературы, которые рассылаются в книжные магазины. Ознакомившись с этим планом, можно заблаговременно заказать ту или иную научную и научно-популярную книгу. Форма заказа и адрес в этих планах указываются.

Раздел «Новые книги» в «Природе» не носит рекламного характера. Цель этого раздела — информировать читателей об издающейся в стране научно-популярной литературе по естествознанию и помочь ему ориентироваться в постоянно обновляющемся книжном потоке.

Космические исследования

Работа метеоспутника восстановлена

Запущенный в марте 1983 г. на полярную орбиту американский метеоспутник «NOAA-8» в июне 1984 г. вышел из строя в результате поломки бортового осциллографа; в результате за этим последовало беспорядочное вращение спутника и нарушилась ориентация солнечных панелей. Осуществить коррекцию ориентации спутника на орбите было невозможно, так как горючее израсходовали сразу после запуска. Спутник стал абсолютно бесполезным.

В 1985 г. астроэлектронный отдел фирмы «Radio Corporation of America», построившей этот спутник для Национального управления США по изучению океана и атмосферы, разработал компьютерную программу «оживления» спутника с помощью магнитного редуктора, придающего ему вращательный момент. В течение десяти суток по команде с Земли эта магнитная система приводилась в действие в тех точках орбиты, где магнитное поле планеты имело направленность, необходимую для придания спутнику заданного вращения. В результате он прекратил «кувыркание» на орбите.

С июля 1985 г. спутник возобновил сбор и передачу на Землю информации, используемой для метеопрогнозирования, в особенности средние- и долгосрочного. На его борту работают микроволновые датчики, собирающие сведения о температуре на высоте от 3 до 65 км; радиометр высокой разрешающей способности, строящий изображения земной поверхности и верхней части облаков, а также датчик, измеряющий поток частиц солнечного проис-

хождения. Единственный прибор, который так и не удалось вернуть к жизни, — инфракрасный датчик вертикальных профилей температуры и влажности в атмосфере.

«NOAA-8» используется в совместном французско-американском метеорологическом проекте; он собирает телеметрические данные с метеобаллонов и буев, запускаемых в различных районах земного шара, над которыми спутник проходит дважды в сутки. На борту спутника имеется также аппаратура международной системы, помогающей обнаруживать потерпевшие аварию суда и самолеты, снабженные специальным оборудованием.

Eos (Transactions of the American Geophysical Union), 1985, v. 66, № 27, p. 527 (США).

Космические исследования

Изучается хвост кометы

11 сентября 1985 г. космический зонд «ICE» («International Cometary Explorer»)¹ влетел в область плазменного хвоста кометы Джакобини — Циннера и провел в нем около 20 мин. Вопреки опасениям, ни сам аппарат, ни панели его солнечных батарей не были повреждены кометной пылью, и информация о состоянии среды в этой об-

ласти поступала почти без помех.

Полученные данные указывают на то, что у кометы, по-видимому, чрезвычайно слабо выражена или совсем отсутствует головная ударная волна, обычно возникающая при обтекании солнечным ветром других тел Солнечной системы.

Вместо четкого ударного фронта вблизи кометы имеется диффузный растянутый «район взаимодействия» двух сред, образующийся, вероятно, в результате того, что гигантское облако нейтральных газов, которое окутывает комету, служит «подушкой», смягчающей столкновение с солнечным ветром.

В остальном прогнозы теоретиков оправдались. Так, подтверждено, что силовые линии магнитного поля, окутывающие голову кометы, образуют хвост, состоящий из двух «трубок», в которых силовые линии имеют противоположные направления. Эти «трубки» отделены друг от друга нейтральным слоем.

Судя по свойствам электронной плазмы и по характеру распространения в ней радиоволн, минимальная температура наблюдается в центре хвоста кометы. Здесь же максимальная концентрация электронов (около сотен частиц на 1 см^3 , что в 20—40 раз больше, чем в солнечном ветре).

Измерение ионного состава плазмы подтвердило гипотезу, согласно которой сама комета представляет собой «грязный снежок», состоящий в основном из H_2O^+ и CO^+ .

После того как «ICE» пролетел сквозь хвост кометы Джакобини — Циннера, он переведен на орбиту, направленную к Земле и, вероятно, вернется в околоземное космическое пространство к 2012 г.

Eos (Transactions of the American Geophysical Union), 1985, v. 66, № 39, p. 673 (США).

¹ Перед полетом к комете этот космический аппарат (тогда он еще носил название «ISEE-3») в течение года находился в хвосте магнитосферы Земли, изучая его удаленные области. Об этих исследованиях см.: Исследуются дальние области геомагнитного хвоста. — Природа, 1985, № 6, с. 106.

Астрофизика

Сверхжесткое излучение от рентгеновских пульсаров

Группа астрономов Даремского университета (Англия) сообщила о регистрации γ -квантов с энергией, превышающей 1000 ГэВ, от источника 4U 0115+63. Ранее этот источник был известен как короткопериодический рентгеновский пульсар (период 3,61 с), входящий в двойную систему; период обращения системы вокруг ее центра масс составляет 24,3 дня. Впервые этот пульсар наблюдали со спутника «Ухуру» в 1974 г.; его рентгеновское излучение имеет спорадический характер. Полагают, что это результат слабой связи между компонентами двойной системы.

Обнаружение γ -излучения столь высокой энергии от рентгеновского пульсара указывает на необычный механизм излучения объектов этого типа, проявляющихся в очень широком диапазоне энергий (от 10^2 до 10^{12} эВ). Оказалось, что γ -излучение источника имеет характер пульсаций с периодом 3,6146 с, почти совпадающим с периодом рентгеновских пульсаций; подобный факт говорит об общей природе обоих видов излучения.

Наблюдения в области энергий, превышающих 1000 ГэВ, проводились в сентябре 1984 г. наземными детекторами черенковского излучения; детекторы этого вида позволяют регистрировать не только наличие излучения, но и определять направление прихода протонов космических лучей и γ -квантов высоких энергий. Полное время наблюдения источника составило 25 ч, причем велось оно сеансами по 3,5 ч с интервалом между ними 24 ч. Эффекты истинной, т. е. присущей самому источнику, периодичности и «наведенной» (с периодами, кратными 24 ч) легко разделяются, поэтому вывод о периодичности излучения в области энергий 1000 ГэВ вполне достоверен. Светимость пульсара в этом диапазоне энергий оценивается величиной $6 \cdot 10^{15}$ эрг/с.

Свойства источника 4U 0115+63 не являются, по-видимому, уникальными. Исследовать его стали после того, как в 1984 г. аналогичные пульсации в области энергий 1000 ГэВ были обнаружены у двойного рентгеновского пульсара Her X-1 со сходным значением светимости ($2 \cdot 10^{15}$ эрг/с). Период γ -пульсаций Her X-1 также совпадает с периодом рентгеновского пульсара (1,24 с), однако сами пульсации удалось наблюдать лишь во время одной трехминутной вспышки, во время которой γ -светимость достигла значений рентгеновской.

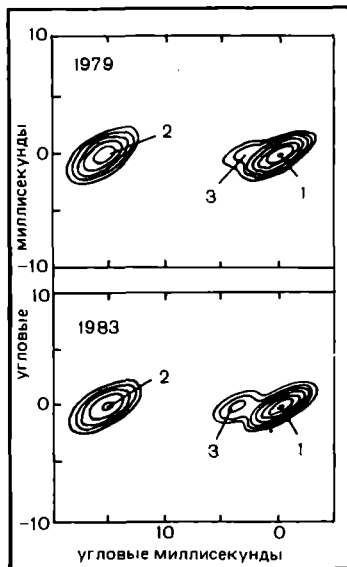
Вполне возможно, что класс объектов, проявляющихся одновременно в таком широком диапазоне энергий, довольно обширен; поэтому та же группа астрономов планирует продолжить поиск γ -излучения у пульсаров со сходными значениями светимости, периода и темпа ускорения.

Astronomy and Astrophysics, 1985, v. 151, № 1, L1—L3 (ФРГ).

Астрофизика.

«Сверхсветовой» радиоисточник

С тех пор как в радиоастрономии стали использоваться радиointерферометры со сверхдлинной базой, обладающие рекордно высоким угловым разрешением вплоть до 10^{-4} угловой секунды, перед астрофизиками стоит вопрос о природе так называемых «сверхсветовых» внегалактических радиоисточников. Как известно, фундаментальные физические принципы запрещают материальным объектам двигаться со скоростью, превышающей скорость света. Тем не менее анализ радиокарт ядер нескольких десятков внегалактических источников (типа квазаров) приводит к выводу о сверхсветовых скоростях перемещений в



Радиокарты источника 3C 395, построенные по наблюдениям 1979 и 1983 гг. 1 — ядро, 2 — компонента, 3 — слабая деталь.

них отдельных компактных деталей. Подобные оценки получены в результате преобразования видимых угловых перемещений в линейные. В некоторых случаях компактные детали перемещаются со скоростью более 20 с (с — скорость света).

Естественно, это не реальная скорость движения каких-либо материальных объектов, а лишь их видимая скорость. Для объяснения эффекта предложено несколько механизмов, среди них модель релятивистского пучка плазмы, движущегося под небольшим углом к направлению источника — наблюдателя, разного рода механизмы типа «солнечного зайчика» и гипотезы о гравитационно-линзовой природе «сверхсветовых» движений. К единому мнению исследователи пока не пришли. А тем временем коллекция «сверхсветовых» источников пополняется.

Недавно американские астрономы Дж. Ваак, Дж. Спенсер, К. Джонстон, Р. Саймон (J. H. Waak, J. H. Spencer, K. J. Johnston, R. S. Simon; Морская исследовательская лаборатория, Вашингтон) опубликовали данные двух наблюдений радио-

¹ Douthwaite J. C. et al. — Nature, 1984, v. 309, № 5970, p. 691.

источника 3С 395, проведенных с четырехлетним интервалом — в 1979 и 1983 гг. Наблюдения велись на частоте 5 ГГц с использованием нескольких крупнейших радиотелескопов США и Европы, связанных в интерферометрическую сеть. По данным этих наблюдений построены радиокарты, воспроизведенные на рисунке. В структуре источника доминируют две детали: ядро 1 и компонента 2. Кроме того, на обеих картах присутствует более слабая деталь 3. Если полагать, что на картах 1979 и 1983 гг. деталь одна и та же, то ее перемещение происходило со скоростью 21 с.

Уникальность полученного результата состоит в том, что переместилась лишь деталь 3, тогда как угловое расстояние между ядром и компонентой 2 осталось неизменным в пределах точности измерений. Столь различное поведение деталей на радиоизображениях ядер квазаров ранее не наблюдалось. Деталь 3 «движется» по направлению к неподвижной компоненте 2. Это обстоятельство позволило авторам назвать наблюдаемое явление «дозаправкой» компоненты 2.

Экстраполируя движение детали 3, можно заключить, что она достигнет компоненты 2 через 16 лет — срок очень малый по масштабам внегалактической астрономии.

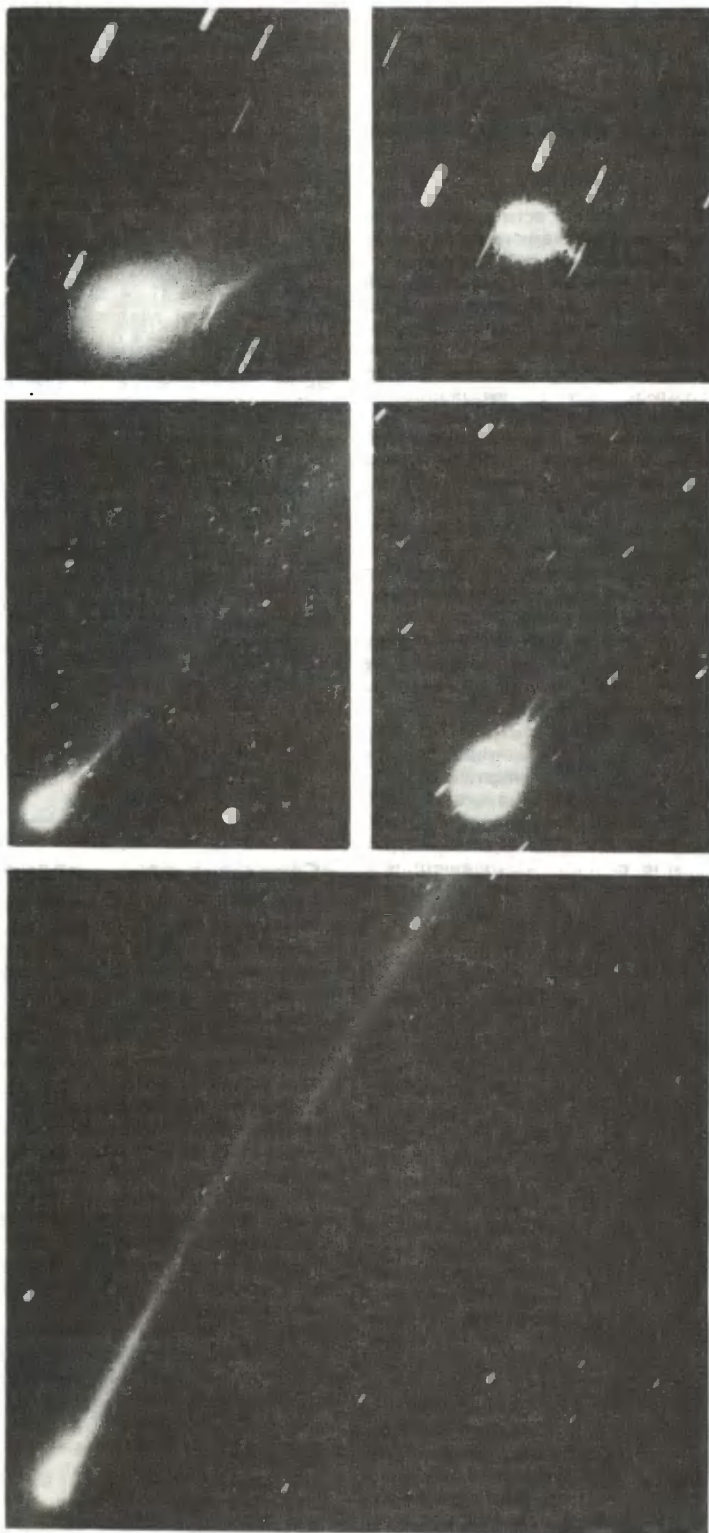
The Astronomical Journal, 1985, v. 90, № 10, p. 1989—1991 (США).

Астрономия

Половина пути пройдена

9 февраля 1986 г. в 13 ч 59 мин 30 с московского декретного зимнего времени комета Галлея прошла перигелий и стала удаляться от Солнца. В Институте астрофизики АН ТаджССР с сентября 1984 г. ведутся регулярные наблюдения за этой кометой на метровом рефлекторе, установленном на горе Санглок. Вначале комета

Изменения структуры хвоста кометы Галлея.



была слабее 21 звездной величины и фотографировалась этим небольшим телескопом на пределе его чувствительности¹. С августа 1985 г. комета стала доступна 40-сантиметровому астрографу Гиссарской обсерватории института.

За 14 месяцев наблюдений накоплен обширный наблюдательный материал, содержащий фотометрические, поляриметрические и спектральные измерения, а также богатую коллекцию прямых снимков. В значительной степени материал уникален, так как содержит интереснейшие наблюдения активности кометы Галлея.

На первых двух снимках, полученных С. И. Герасименко и Ф. Н. Масуми на 40-сантиметровом астрографе 12 ноября 1985 г. с интервалом в три часа, виден выброс необычной формы из ядра кометы; выброс направлен в сторону Солнца. Его быстрое изменение вызвано воздействием солнечного ветра и, вероятно, вращением ядра кометы.

Следующие два снимка получены на том же инструменте Н. Н. Киселевым и С. И. Герасименко 30 декабря 1985 г. и 2 января 1986 г., соответственно. По ним видно, какие значительные изменения произошли со структурой хвоста кометы. Последний снимок (С. И. Герасименко и Н. Н. Киселева) относится к 10 января 1986 г. Плазменный хвост кометы весьма чувствителен к изменению межпланетных магнитных полей и солнечного ветра. По-видимому, излом хвоста, зафиксированный на фотографии, связан именно с изменениями межпланетной среды.

Можно надеяться, что в результате анализа наблюдений, проведенных на разных обсерваториях нашей страны, удастся получить детальное описание кометы и построить ее модель. Все наземные наблюдения кометы будут привязаны к прямым

измерениям, проведенным с борта советских автоматических станций «Вега-1» и «Вега-2».

М. Н. Максумов, кандидат физико-математических наук директор Института астрофизики АН ТаджССР

О. В. Добровольский, академик АН ТаджССР заместитель председателя Советской программы наблюдений кометы Галлея

Астрономия

Десятая планета Солнечной системы!

В 1984—1985 гг. специалисты активно обсуждали гипотезу о существовании звезды Немезиды (невидимого компаньона Солнца), которая якобы периодически внедряется в «облако комет» Оорта, расположенное на границе Солнечной системы, и вызывает кометные ливни. Эти ливни выпадают каждые 26—28 млн лет и, по-видимому, послужили причиной вымирания некоторых форм жизни на Земле¹. Однако до сих пор существование Немезиды не доказано.

Астрофизики Д. Уитмаир и Дж. Матис (D. Withmeyer, J. Matfis; Луизианский университет, США) по-другому объясняют происхождение кометных ливней. Они предполагают, что существует десятая планета Солнечной системы — планета X, расположенная за орбитой Плутона. (Согласно некоторым расчетам, действительно, должна существовать планета массой 1—5 масс Земли, удаленная от Солнца на 50—100 а. е.)

По теории Уитмаира и Матиса, планета X движется по эллиптической орбите, плоскость которой наклонена под углом 45° к плоскости Солнечной системы. Время ее обраще-

ния по орбите составляет примерно 1000 лет. Планета X периодически (каждые 26—28 млн лет) пересекает орбиту кометного пояса и пробивает в нем «брешь», в результате чего на Солнечную систему обрушивается кометный ливень.

Расчеты показали, что если планета X существует, то она должна находиться в Южной небесной полусфере.

Science News, 1985, v. 127, № 3, p. 40, 44 (США)

Метеоритика

Как возникли метеориты!

До сих пор многие астрономы полагали, что метеориты, принадлежащие к классу SNC, могут иметь «марсианское» происхождение. Судя по данным радиоактивного датирования, эти небесные тела затвердели примерно 1,3 млрд лет назад. Следовательно, планета, где они зародились и откуда были выброшены скорее всего в результате вулканического взрыва, должна была быть горячей и вулканически активной еще сравнительно недавно (по астрономическим и геологическим меркам).

Сегодня таким требованиям в Солнечной системе отвечают лишь Земля, Марс и спутник Юпитера — Ио. Отсюда и делалось предположение, что такие метеориты попадают к нам скорее всего с Марса.

Однако недавно группа сотрудников Химического института им. М. Планка (ФРГ), выполнив анализ состава метеоритов этого класса, пришла к иному выводу. По содержанию азота, аргона, криптона и ксенона, захваченных метеоритными породами, они определили, что Марс мог бы оказаться источником таких метеоритов, если бы его атмосфера отличалась большей концентрацией изотопа ксенона ¹²⁹Xe, чем породы самой планеты. Поскольку это не отвечает наблюдаемому составу газовой оболочки Марса, от подобной гипотезы приходится отказаться.

Итак, происхождение метеоритов класса SNC остается неясным.

Nature, 1985, v. 317, p. 509; New Scientist, 1985, v. 108, № 1478, p. 34 (Великобритания)

¹ Киселев Н. Н., Щеглов П. В. На обсерватории Санглок сфотографирована комета Галлея. — Природа, 1985, № 8, с. 107.

¹ Чужанов В. А. Следы космической катастрофы? — Природа, 1982, № 3, с. 31.

Физика

Мазер на одном атоме

В последние годы в ряде физических лабораторий появился новый объект исследований — так называемый ридберговский атом: в нем один из электронов возбужден и находится на орбите, весьма удаленной от ядра и других электронов. Уровни энергии такого атома расположены довольно близко друг к другу, так что переходы между соседними уровнями происходят под действием электромагнитного излучения радиоволнового диапазона (длины волн — миллиметры и сантиметры).

Начиная с 1982 г. группа французских исследователей провела ряд экспериментов с ридберговскими атомами, помещенными в радиоволновый резонатор, настроенный на частоту перехода между соседними ридберговскими уровнями¹. При достаточной добротности резонатора энергия такой системы сосредоточена либо в электромагнитном поле, либо в атомах и может «перетекать» от атомов к полю и обратно. Удалось наблюдать такой обмен энергией между атомами и полем резонатора; частота обмена энергией возрастала с ростом средней амплитуды поля.

Исследователи из Института квантовой оптики им. М. Планка (Мюнхен, ФРГ) усовершенствовали условия эксперимента: в результате оказалось возможным наблюдать обмен энергией между атомами и полем, когда в резонаторе находилось не более одного атома, а среднее число фотонов радиоволнового поля не превышало десяти². Устройство явилось не чем иным, как мазером на одном атоме. Однако интересны не столько его мазерные характеристики, сколько возможность наблюдать существенно квантовые эффекты в простейшей си-

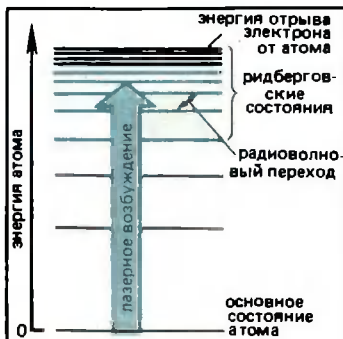


Схема энергетических уровней ридберговского атома.

стеме: одиночный атом в поле нескольких фотонов излучения. Теория предсказывает затухание обмена энергией между атомами и полем по мере увеличения времени нахождения атома в резонаторе. Кроме того, как было предсказано совместно советским и американскими физиками³, при еще большем времени взаимодействия обмен энергией возобновится. Согласно квантовой теории излучения, состояния электромагнитного поля в резонаторе обладают некоторой неопределенностью числа фотонов, и каждому возможному числу фотонов соответствует своя частота энергообмена между атомом и полем. Затухание обмена происходит из-за сложения отдельных частот, а их возобновление с увеличением времени взаимодействия связано с дискретностью набора складываемых частот, что, в свою очередь, есть следствие дискретности фотонов.

В течение пяти лет с момента предсказания возможности экспериментального наблюдения этого квантового эффекта ставилась под сомнение. И вот именно этот эффект — затухание и возобновление энергообмена между атомом и полем — был обнаружен немецкими физиками в мазере на одном атоме. В эксперименте использован сверхпроводящий резонатор (резонансная частота

21,5 ГГц, рабочий диапазон температур 2—4 К), через который пропускались одиночные атомы рубидия. Перед входом в резонатор атомы возбуждались в заданное ридберговское состояние излучением второй гармоники непрерывного лазера на красителе ($\lambda = 297$ нм). На выходе из резонатора состояние атома анализировалось специальной системой, способной различать, на каком из рабочих ридберговских уровней — верхнем или нижнем — находится атом. Время взаимодействия атомов с полем резонатора регулировалось по скорости атомов. Успеху эксперимента способствовала компьютерная система сбора и обработки данных.

Эксперименты с ридберговскими атомами в резонаторе продолжают. Для резонаторов высокой добротности атомный пучок является единственным «зондом», чувствительным к электромагнитному полю, и авторы надеются по состоянию атомов исследовать статистику фотонов в резонаторе. Кроме того, с помощью резонатора предполагается измерить весьма тонкие сдвиги атомных уровней, возникающие вследствие «деформации» вакуума резонатором.

Таким образом, ридберговский атом оказался исключительно привлекательным объектом для проверки новых предсказаний квантовой электродинамики.

А. В. Масалов,
кандидат физико-математических наук
Москва

Физика

Новый вид спектроскопии твердых тел

В 1984 г. две группы ученых из Центра ядерных исследований (Юлих, ФРГ) и Кельнского университета (ФРГ) сообщили о новом экспериментальном методе, с помощью которого можно изучать влияние ферромагнетизма на зонную структуру металлов¹. Метод тесно связан с классическими спо-

¹ Kaluzny Y. et al. — Phys. Rev. Lett., 1983, v. 51, № 13, p. 1175.

² Filipowicz P. et al. — Optica Acta, 1985, v. 32, № 9/10, p. 1105.

³ Narozhny N. B., Sanchez-Mondragon J. J., Eberly J. H. — Phys. Rev. A, 1981, v. 23, № 1, p. 236.

собами исследования электронной структуры твердых тел — оптической, фотоэмиссионной и рентгеноэмиссионной спектроскопией, обратной фотоэмиссией и др. Эти способы дают определить функции, косвенно отражающие особенности электронной структуры исследуемого вещества; так, спектр оптического поглощения на различных частотах ω определяется диэлектрической проницаемостью $E(\omega)$. Диэлектрическую проницаемость можно изучать, измеряя потери энергии быстрых электронов, пролетающих сквозь пленку металла или отражающихся от его поверхности. Зависимость этих потерь от энергии налетающих электронов (иначе, функция характеристических потерь) также связана с $E(\omega)$.

Однако диэлектрическая проницаемость нечувствительна к магнитному состоянию вещества. Например, в ферромагнетиках все электронные энергетические уровни расщеплены на пары — со спином, направленным параллельно и антипараллельно магнитному полю. Расщепление различно для разных уровней и является важнейшей характеристикой электронной структуры ферромагнетика. До сих пор единственный способ получения прямой информации о спиновом расщеплении состоял в изучении фотоэмиссии спин-поляризованных электронов. Возможности же контролировать эмиссионные эксперименты оптическими или какими-либо другими не было.

Новый способ позволяет измерять потери энергии в ферромагнетике пучком быстрых спин-поляризованных электронов. Такие электроны, взаимодействуя с электронами металла, отдадут им энергию не только в результате прямого электрического взаимодействия, но и за счет обменного. Хотя последнее значительно слабее, оно может перевесить спин налетающего быстрого электрона. Для немагнитного материала разница в спектре потерь энергии быстрыми электронами с противо-

положными спинами равна нулю, поскольку оба направления спина эквивалентны. Но в ферромагнетике электрон со спином, направленным вдоль магнитного поля, рассеивается не так, как электрон с противоположным спином. Происходит это именно потому, что обменное взаимодействие внешнего электрона с электронами металла в этих случаях неодинаково.

Полной количественной теории этого метода пока не существует. Первая теоретическая работа появилась в конце 1985 г. Удалось, правда на чрезвычайно упрощенной модели, правильно объяснить общие закономерности, обнаруженные в экспериментах; в частности, было показано, что чаще всего должны наблюдаться процессы с потерей энергии, примерно равной средней энергии расщепления уровней. Более подробный анализ экспериментов требует развития количественной теории.

The Physical Review B, 1985, v. 32, No 5, p. 2824—2834 (США).

Физика

Акустотермография

Температура тела эвкалипта, в том числе и человека, — важный показатель функционального состояния организма и патологических изменений в нем. В последние годы медицинская диагностика все большее значение придает пространственно-временному распределению температуры в человеческом теле. Используется метод тепловидения: по инфракрасному излучению определяется температура на поверхности тела. Чтобы измерить температуру в глубине биологических объектов, применяют методы СВЧ-радиометрии (радиотермографию): в дециметровом диапазоне волн (частоты от одного до нескольких герц) температура зондируется на глубине в несколько сантиметров; но этот метод не обеспечивает достаточной разрешающей способности.

Согласно оценкам, проведенным группой под руковод-

ством Ю. В. Гуляева (Институт радиотехники и электроники АН СССР), лучшего разрешения можно достигнуть с помощью акустотермографии. В основе метода лежит тепловое акустическое излучение. Как и радиочастотное, это излучение возникает в результате теплового хаотического движения атомов и молекул в биологических объектах; оно пропорционально абсолютной температуре тела.

Ткани живых организмов, состоящие в основном из воды, достаточно прозрачны для акустических волн с частотами 1—10 МГц. Длины акустических волн в этом диапазоне не превышают нескольких сантиметров (т. е. значительно короче используемых в радиотермографии); это и позволило получить более высокое пространственное разрешение. Из-за более узкой полосы пропускания чувствительность акустотермографии (т. е. минимальная обнаруживаемая разность температур) при использовании единичных детекторов ниже, чем у единичных детекторов в радиотермографии. Но если применять матричные приемники — системы из многих акустических детекторов — и определенный вид суммирования сигналов с выходов этих детекторов, указанные недостатки можно устранить.

Малая длина акустических волн, миллиметровые размеры единичных приемников позволяют создать и матричные приемники небольших размеров. Особенно высокую чувствительность можно получить на высоких частотах. Но и диапазон низких частот имеет ряд преимуществ. Так, при относительно больших перепадах температуры, характерных для некоторых опухолей ($\Delta T = 1^\circ \text{C}$), на низких частотах глубина зондирования может превышать 10 см. При измерении температурного профиля в плоскости, расположенной на глубинах более 4 см, точность акустотермографии выше, чем у радиотермографии. Этим методом можно точно определить глубину и границы областей с повышенной температурой, таких как опухоли, очаги воспаления и другие патологические изменения.

Доклады АН СССР, 1985, т. 283, No 6, с. 1495—1499.

¹ Phys. Rev. Lett., 1984, v. 53, No 9, p. 695—697, 698—701.

Биофизика

Тепловизор «видит» мозг

Развитие техники тепловидения позволило на расстоянии определять температурные поля коры головного мозга человека и динамику их изменений под действием химических и сенсорных раздражителей. Предполагая, что кости черепа и скальп не должны давать сильного искажения тепловых потоков от работающего мозга, сотрудники Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии АН СССР (Москва) изучили с помощью тепловизионной техники изменения температуры коры мозга человека при его реакции на зрительную стимуляцию.

Приемная камера тепловизора располагалась в 35—75 см от головы испытуемого. Оптика прибора фокусировала термоизображение освободившейся от волос затылочной области головы. Световым раздражителем служил фотостимулятор с длительностью вспышки 5 с при освещенности на уровне зрачка 18 лк. Распределения температур в коре мозга регистрировались (до, во время и после действия раздражителя) в виде термокарт и термограмм. Термокарты фиксировали температурные поля через каждые 760 мкс.

В результате впервые удалось на расстоянии и при неповрежденном черепе обнаружить четкую термо реакцию мозга на световую стимуляцию глаз. Это проявлялось главным образом в виде локального разогрева левой затылочной области коры. Размер разогретой зоны на пике реакции составлял примерно 1 см². Превышение температуры над фоновым значением в зоне реакции достигало 0,112°С. В правом полушарии термо реакция была значительно меньшей.

В качестве возможных механизмов изменения тепловидения, регистрируемого по инфракрасному излучению, авторы рассматривают перестройку нейронного метаболизма и изменение локального мозгового

кровотока при стимуляции нейронов светом.

Доклады АН СССР, 1985, т. 284, № 4, с. 1016—1019.

Молекулярная биология

Мембранный белок нервных и лимфоидных клеток

Полностью выяснена структура весьма необычного белка Thy-1, встречающегося на поверхностных мембранах некоторых клеток животных. Работа выполнена под руководством Дж. Силвера (J. Silver) в Нью-Йоркском ортопедическом институте и Университете штата Мичиган (США).

Белок Thy-1 интересен в нескольких отношениях. Во-первых, его часто и в значительных количествах обнаруживают на поверхности нервных клеток человека и многих видов животных. Предполагается, что он участвует в формировании нервной системы и, возможно, непосредственно ответствен за образование и стабилизацию синапсов. Во-вторых, по своим размерам (143 аминокислотных остатка) и структуре белок Thy-1 напоминает домен, входящий в состав иммуноглобулинов, и поэтому его относят к иммунологическому суперсемейству белков. Из всех белков этого суперсемейства Thy-1 устроен наиболее просто, и есть основания считать, что он является предшественником всех других родственных белков. В пользу эволюционной «древности» Thy-1 говорит факт обнаружения сходного с ним белка на нервных клетках беспозвоночного животного — кальмара. В-третьих, Thy-1 встречается не только на нейронах, но и на других клетках, например у грызунов на незрелых и зрелых Т-лимфоцитах, на фибробластах и др.

Скорее всего, белок Thy-1 на мембранах лимфоидных клеток играет роль в клеточных контактах. Весьма существенно, что прикрепленные к пептидной цепи белка углеводы, составляющие до трети всей массы молекулы, имеют неодинаковое строение. Так, углеводный компонент Thy-1 из нервной тка-

ни иной, чем у Thy-1 из лимфоцитов. Очевидно, что именно различиями в углеводах объясняется тканевая специфичность этого белка. Детальное выяснение функций Thy-1 будет существенно способствовать пониманию процесса образования тканей.

Proceedings of the National Academy of Science of the USA, 1985, v. 82, № 10, p. 6657—6661; Federation Proceedings, 1985, v. 44, № 13, p. 2865—2869 (США).

Молекулярная биология

Клонирован ген фактора некроза опухолей

Препарат из смеси убийственных клеток бактерий *Streptococcus pyogenes* и *Serratia marcescens* издавна использовался для лечения некоторых форм злокачественных опухолей, пока его не вытеснили более современные формы лечения: радио- и химиотерапия. Однако в ходе экспериментальных исследований природы бактериальных токсинов и механизма их действия на злокачественные клетки выяснилось, что наиболее активной частью токсинов являются липополисахариды. Эти соединения при введении в организм млекопитающих инициируют образование в лимфоцитах белка, получившего название фактора некроза опухолей (TNF, от англ. tumor necrosis factor). Начались поиски гена, кодирующего TNF в геноме млекопитающих.

Недавно ген фактора некроза опухолей был клонирован в лаборатории Р. Уоллеса (R. B. Wallace; Исследовательский институт Бекмана, США) и в исследовательской лаборатории, руководимой Д. Марком (D. F. Mark, компания «Цетус», Эмервилл, США). Это позволило получить новые данные о структуре как самого гена, так

¹ Haranaka K. et al.—Int. J. Cancer, 1985, v. 36, p. 395—399.

и его полипептидного продукта. Оказалось, что ген TNF представлен в геноме млекопитающих только одной копией и состоит из 4 экзонов (кодирующих участков ДНК) и 3 интронов. TNF сначала образуется в виде предшественника, содержащего 233 аминокислотных остатка. После «созревания» в молекуле TNF остается 157 остатков. TNF человека на 80 % гомологичен TNF мыши.

Science, 1985, v. 230, № 4726, p. 630—632 (США).

Биохимия

Антагонисты опиоидных соединений в мозге

После того, как были обнаружены и охарактеризованы опиоидные пептиды мозга¹, возникло предположение о существовании в мозге их антагонистов, т. е. веществ противоположного действия. Было показано, что фрагменты молекул таких известных соединений, как адренокортикотропный гормон, β-эндорфин и холецистокинин-8, обладают действием, противоположным обезболивающему эффекту опиоидов. Однако экспериментальных свидетельств о наличии в мозге антагонистов опиоидов не было.

Японские биохимики С. Канеко, С. Тамура и Х. Такаги (S. Kaneko, S. Tamura, H. Takagi; отделение фармакологии Университета Киото) выделили из мозга млекопитающих такие соединения и расшифровали их структуру. Оказалось, что из большого числа фракций мозга, полученных методом хроматографии, некоторая часть препятствует расслаблению гладкой мускулатуры кишки морской свинки, вызываемому действием опиоида метионин-энкефалина.

¹ Об опиоидных пептидах мозга см.: Иванов В. Т., Каменский А. А. Нейропептиды — регуляторы поведения. — Природа, 1983, № 4, с. 7—12.

Проведя повторную хроматографию активных фракций с последующим аминокислотным анализом, исследователи неожиданно для себя обнаружили давно и хорошо известные соединения — валин⁵-ангиотензин I и валин⁵-ангиотензин II, выполняющие в центральной нервной системе функции регуляторов кровяного давления.

Ангиотензины не конкурировали с опиоидами за связывание с опиатными рецепторами мозга. Вместе с тем исследования тех же авторов показали, что ангиотензины снимают обезболивание, вызываемое морфином, а еще ранее было известно о способности морфина подавлять действие ангиотензина. Все это позволяет говорить об антагонистическом взаимодействии ангиотензинов и опиоидов в центральной нервной системе, причем антагонизм этот имеет чисто физиологический характер.

Авторы убеждены, что обнаружение ангиотензинов в мозге не является артефактом эксперимента, поскольку, во-первых, концентрация этих пептидов в циркулирующей крови на несколько порядков ниже обнаруживаемой в мозге, а во-вторых, экстракцию пептидов проводили в условиях полной денатурации протеолитических ферментов.

Biochemical and Biophysical Research Communications, 1985, v. 226, № 1, p. 587—593 (США).

Биохимия

Опиоидный пептид ускоряет регенерацию

Известно, что опиоидные пептиды — эндорфины и аналоги энкефалинов, обладающие морфиноподобным действием — способны препятствовать образованию язв на слизистой оболочке двенадцатиперстной кишки. Одним из наиболее эффективных противоязвенных препаратов в настоящее время является аналог энкефалина, названный даларгином.

Предполагая, что в основе противоязвенного эффекта даларгина лежит его способность

ускорять восстановительные процессы в поврежденной ткани, И. М. Шейман, Х. П. Тирас и другие (Институт биологической физики АН СССР) исследовали влияние даларгина на скорость регенерации головного конца тела планарий *Dugesia tigrina*. Для этого вида характерно быстрое течение регенеративных процессов.

После отсечения переднего тети тела планарий было зарегистрировано ускоренное восстановление исходных пропорций в растворе с даларгином. Также удалось показать, что налоксон (антагонист опиоидов, связывающийся с опиатными рецепторами мозга) предотвращает регенеративное действие даларгина. Это свидетельствует о том, что активность даларгина проявляется через специфические опиатные рецепторы.

Авторы полагают, что регуляция даларгином системы регенерации аналогична «заживляющему» действию опиоидных пептидов на язвы желудочно-кишечного тракта. В основе обоих процессов лежит активация восстановительных процессов в поврежденной ткани.

Доклады АН СССР, 1985, т. 284, № 2, с. 481—483.

Биохимия

Подавление опухолей у растений

Известно, что развитие опухолей у животных и растений сопровождается повышением концентрации свободных радикалов в тканях, причем максимум концентрации наблюдается при наибольшей скорости роста опухоли. Сотрудники Института химической физики АН СССР и Научно-исследовательского института биологии Иркутского государственного университета попытались выяснить, как влияют на процесс роста опухолей вещества, способные снижать концентрацию свободных радикалов. К таким веществам относятся ингибиторы свободнорадикальных реакций фенольной природы и ста-

бильные нитрокислые радикалы.

Исследованию подверглись опухоли на проростках гороха, вызываемые бактериями *Agrobacterium tumefaciens*. Через 7 суток после заражения на опухоль наносили ингибиторы (гидрохинон, бензохинон и хингидрон) и нитрокислые радикалы — производные пиперидина и пирролидина.

Измерения роста опухолей после воздействия изучаемых препаратов в сравнении с контрольными растениями показали, что все ингибиторы обладают существенной противоопухолевой активностью, хотя заметно различаются по эффективности. Самый сильный эффект оказали бензохинон и нитрокислый радикал 2,2,5,5-тетраметил-3-карбоксипирролин, которые вызвали полную и глубокую регрессию опухолей без рецидивов.

Данные экспериментов подтверждают представление о роли свободных радикалов в развитии опухолевого процесса. «Перехват» свободных радикалов, снижение их концентрации ниже какого-то предела, достигаемого при воздействии ингибиторов свободнорадикальных процессов, становится критическим пунктом в развитии опухолевого процесса, ведет к его остановке, а в некоторых случаях и к регрессии опухоли.

Известия АН СССР, Сер. биол., 1985, № 5, с. 767—770.

Иммунология

Изучение неспецифических иммуноглобулинов

В опытах, проведенных в Московском институте вирусных препаратов МЗ СССР под руководством Е. В. Сидоровой, из суспензии лимфоцитов мыши посредством иммунной реакции удалялись клетки, несущие рецепторы к определенному антигену. Выяснилось, что последующее добавление этого антигена не только не приводит к синтезу антител, но и не вызывает образования неспецифических иммуноглобулинов.

Известно, что иммунизация

приводит, помимо синтеза специфических антител, к образованию большого количества неспецифических иммуноглобулинов. Однако ни механизм образования этих белков, ни их функции до сих пор не ясны. Эксперименты Е. В. Сидоровой с сотрудниками позволяют утверждать, что лимфоциты, способные узнавать антиген с помощью специфических рецепторов, продуцируют и антитела, и неспецифические иммуноглобулины.

Большая часть лимфоцитов с антигенными рецепторами неспособна к синтезу полноценных антител и синтезирует лишь неспецифические иммуноглобулины. Одна из причин этого может заключаться в каком-то дефекте структурных генов антител в клетках, образующих неспецифические иммуноглобулины.

Бюллетень экспериментальной биологии и медицины, 1985, т. С, № 9, с. 327—329.

Медицина

Испытания тромболитического препарата

Тканевый активатор плазминогена (ТАП) — фермент, присутствующий в очень небольших количествах в человеческой крови — способен активизировать цепь биохимических реакций, приводящих к растворению тромбов. Поэтому он может найти применение для лечения острого инфаркта миокарда, при котором в 70—90 % случаев коронарные артерии закрыты тромбами. Однако использование ТАП человека долгое время сдерживалось из-за сложности его выделения в достаточных количествах. Разработан метод получения ТАП генноинженерным способом: ген человека, кодирующий образование этого белка, соединили с регуляторными элементами ДНК бактерий и заставили микроорганизмы производить ТАП в достаточных количествах.

Результаты крупного международного исследования, проведенного в нескольких научных центрах под руководст-

вом М. Ферстрета (М. Verstraete; Центр изучения геостаза и тромбоза, Лёвен, Бельгия), показали, что внутривенное введение генноинженерного ТАП в течение первых 6 часов после острого инфаркта миокарда вело к восстановлению проходимости коронарных артерий у 61 % испытуемых. Введение тромболитического препарата хорошо переносилось больными, не было отмечено серьезных аллергических осложнений или кровотечений. В контрольной группе спонтанное растворение тромбов отмечалось только в 21 % случаев.

Клинические испытания ТАП проведены также в 13 медицинских учреждениях США. Его свойства сравнивались со свойствами другого тромболитического фермента — стрептокиназы, широко используемого для лечения тромбозов. Вводимый внутривенно ТАП вызывал растворение тромбов примерно у двух третей больных, тогда как стрептокиназа — лишь у 37 %. Эффективность действия обоих препаратов оценивали методами коронарной ангиографии. Установлено, что введение ТАП во время сердечного приступа вызывает растворение тромба в течение нескольких минут, что предотвращает тяжелые повреждения миокарда и восстанавливает нормальное кровообращение.

Таким образом, результаты испытаний показывают, что новый тромболитический препарат имеет ряд преимуществ перед использовавшимися ранее, обладая не меньшей эффективностью.

Lancet, 1985, v. 11, № 8462, p. 965—970 (Великобритания); Genetic Engineering News, 1985, v. 5, № 5, p. 1 (США).

Медицина

Новые исследования интерферона

Результаты целого ряда исследовательских работ по проблеме интерферона позволяют наметить новые направ-

ления экспериментального изучения этого защитного белка¹.

В настоящее время в клинике используются противовирусные и противоопухолевые свойства лейкоцитарного α -интерферона, получаемого из лейкоцитов крови доноров. Поэтому несомненный интерес вызывает изучение несколькими авторскими коллективами его противобактериального действия. Так, введение препаратов α -интерферона новорожденным в дополнение к обычным средствам терапии гнойно-воспалительных заболеваний бактериальной природы сокращало период выздоровления детей, предохраняло их от появления осложнений и почти в 3 раза уменьшало смертность. Установлено также терапевтическое действие α -интерферона при лечении стафилококкового сепсиса и менингоэнцефалита. Сотрудники Пермского медицинского института МЗ СССР и Института эпидемиологии и микробиологии им. Н. Ф. Гамалеи АМН СССР показали, что под влиянием α -интерферона повышается чувствительность бактерий к действию антибиотиков, что отчасти объясняет механизм его противобактериального эффекта.

Эти работы открывают широкие перспективы использования препаратов интерферона в клинике при лечении инфекционных заболеваний бактериального происхождения (по крайней мере для повышения эффективности проводимой обычно терапии). Кроме того, открытие новых свойств α -интерферона позволит лучше понять его природу и функции в системе иммунитета организма.

Для интерферона характерна видовая специфичность действия. На мышей, например, не действует человеческий интерферон, а на лю-

дей — мышинный. Тем интересней установленный еще в 1982 г. факт подавления интерфероном человека репродукции вируса табачной мозаики в тканях растений табака. М. Э. Тальянский с сотрудниками (Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова) выяснили, что препараты человеческого α -интерферона (лейкоцитарного и рекомбинантного) угнетают репликацию большого числа вирусов, обитающих в различных видах растений. Они также обнаружили, что препараты интерферона уничтожают микровирусы, поражающие шампиньоны. Видимо, в тканях растений и грибов видовая специфичность интерферона проявляется не всегда. Этот вывод, возможно, послужит основанием для практического использования интерферона в целях защиты растений от вирусов.

Следует сказать, что лейкоцитарный α -интерферон, используемый в клинике, очень дорог. Немного дешевле рекомбинантный α -интерферон, получаемый методами генной инженерии. Однако в настоящее время рекомбинантный интерферон еще только проходит испытания, и его широкое терапевтическое использование станет возможным лишь через 2—3 года. Поэтому сегодня особый интерес представляют результаты испытаний свиного α -интерферона, получаемого из обильного и дешевого сырья. Свиной интерферон испытывался при лечении 400 больных различными вирусными заболеваниями. Показано его выраженное терапевтическое действие. Важно отметить, что свиной α -интерферон вполне способен конкурировать с рекомбинантным α -интерфероном по дешевизне.

Совершенно новым источником интерферона — речь идет о β -интерфероне — стали клетки человеческой плаценты. Получаемый из них препарат назван плафероном. Выделяют и исследуют его в Тбилиском научно-исследовательском институте экспериментальной морфологии АН ГрузССР. Плаферон по своим физико-химическим свойствам мало отличается от обычного челове-

ческого лейкоцитарного α -интерферона. Проведенные по различным биологическим и клиническим тестам испытания выявили его достаточно высокую эффективность. Учитывая ограниченные возможности получения и использования лейкоцитарного интерферона, появление нового источника человеческого интерферона очень важно.

И наконец заслуживает внимания работа сотрудников Института медико-биологических проблем МЗ СССР и Института вирусологии им. Д. И. Ивановского АМН СССР. Ими обследованы 42 космонавта до и после космических полетов на орбитальных станциях «Салют-6» и «Салют-7», продолжавшихся от 7 до 211 суток. Изучалась способность организма продуцировать интерферон в условиях невесомости. Исследователи обнаружили, что концентрация интерферона в крови космонавтов на борту станции была в 2—8 раз выше, чем в одновременно проводимом наземном эксперименте. Этот факт вызывает большой интерес и несомненно потребует специального изучения. После экспонирования на борту станции «Салют-6» препаратов интерферона в виде порошка, раствора и мази в течение 6 месяцев не выявлено снижения их биологической активности, что дает основания рекомендовать включение препаратов α -интерферона в аптечку космонавтов, длительное время находящихся на борту пилотируемых космических кораблей.

Г. Д. Кобринский,
доктор медицинских наук
Москва



Биогеохимия

Галогенорганические соединения морских водорослей

Недавно выяснилось, что самые обычные водоросли умеренных широт не только синтезируют целый ряд галогенорганических соединений, но и вы-

¹ «Интерферон» — 85. Тбилиси (Материалы Всесоюзной конференции «Итоги и перспективы теоретических и практических исследований по проблеме интерферона», 18—22 ноября 1985 г.). Тбилиси, 1985, 150 с.

деляют их в воду, откуда те попадают в атмосферу. Между тем летучие галогенсодержащие органические соединения относятся к опасным загрязнителям биосферы. Они весьма стойки, имеют тенденцию накапливаться на дне водоемов, в почве, а также концентрироваться по мере продвижения по пищевой цепи.

Американские исследователи из Массачусетского технологического института определили содержание и количество выделяемых летучих галогенсодержащих соединений масловыми водорослями, растущими у мыса Код (США): бурыми — *Ascophyllum nodosum* и *Fucus vesiculosus*, красной — *Gigartina stellata*, зелеными — *Enteromorpha linza* и *Ulva lactuca*¹. Эти виды или ближайшие их родственники обычны и у берегов наших северных и дальневосточных морей, а некоторые — также у берегов Балтийского и Черного морей. В тканях водорослей обнаружено множество галогенсодержащих соединений: дибром-, трибром-, хлордибром-, дихлорбромметан, диiodметан, метил-, этил-, изопропилидид, пентил- и пропилибромид, иод- и бромпропан, иод- и бромпентан, иодбутан и др. Из исследованных видов лишь красная водоросль *Chondrus crispus* не синтезирует этих веществ.

Концентрация CHBr_2Cl в тканях водорослей достигала 0,5—0,9 мкг/г сухого веса, а суточное выделение составляло 3—4 мкг/г. CHBr_3 в тканях содержится в меньшем количестве, но его метаболизм протекает быстрее, и суточное выделение в отдельных случаях достигало 12,5—14 мкг/г. В среднем водоросли ежедневно выделяют в воду 1—10 мкг/г брома и 0,01—0,1 мкг/г иода. Интересно, что синтеза хлор- и дихлор-компонентов «в чистом виде» (без брома и иода) у водорослей не отмечено, хотя ионов хлора в морской воде несравненно больше,

чем брома и иода. Очевидно, водоросли не содержат специфических ферментов — галопероксидаз для синтеза «чистых» хлорпроизводных.

Для чего нужны водорослям столь опасные соединения? Не исключено, что они — лишь побочные продукты деятельности каких-то пероксидаз и от них нужно лишь поскорее избавиться. Но если учесть, что многие галогенсодержащие соединения имеют антибиотические свойства, более вероятно, что водоросли специально синтезируют их для борьбы с растительноядными моллюсками или с обрастающими макроводоросли диатомеями.

Подсчет количества органиобромидов и органоидов, выделяемых в воду, а из воды в атмосферу всеми макроводорослями Мирового океана, сухая биомасса которых оценивается в 10 млн т, показал, что за год они выделяют порядка 10 тыс. т органиобромидов (приблизительно столько, сколько выделяется в результате использования в хозяйственной деятельности бромметана и трифторбромуглерода, и значительно больше того количества броморганических соединений, которые поступают в атмосферу как побочные продукты при хлорировании воды). Что касается органоидов, тут на первом месте стоит фитопланктон: он выделяет в атмосферу порядка 1 млн т CH_3I , а макроводоросли — лишь около 100 т.

К. Н. Несис,
кандидат биологических наук
Москва



Охрана природы

Попытки сохранить белоголовый орлан

Одна из наиболее крупных хищных птиц Северной Америки — белоголовый орлан (*Haliaeetus leucocephalus*) находится под угрозой исчезновения: за исключением Аляски, в остальных штатах остались лишь считанные особи.

Орнитологи давно пыта-

ются спасти этот вид от вымирания. Снесенные самками в зопарках яйца помещают в инкубаторы, однако жизнеспособные птенцы в этих случаях вылупляются менее чем из половины яиц. Неожиданная удача пришла, когда научные сотрудники Центра по исследованию природы в Патаксен-Ривер (США) попробовали подкладывать яйца орлана курам-бентамкам. Эти самые мелкие среди двухсот представителей отряда куриных оказались прекрасными помощниками: около 95 % подкладываемых им яиц давали нормально развивающееся потомство.

За полтора года уже выращен до безопасного возраста 71 птенец; 15 пар оставлено в научном центре для дальнейшего разведения, остальные либо выпущены в их естественную среду обитания, либо вскоре окажутся на свободе. Хотя вид продолжает числиться среди находящихся под угрозой исчезновения, появилась реальная надежда на его сохранение.

New Scientist, 1985, v. 107, № 1468, p. 19 (Великобритания).

Геология

Первый рейс научно-исследовательского судна «Академик Николай Стрехов»

Весной 1985 г. Геологическому институту АН СССР для экспедиционных геолого-геофизических работ было предоставлено научно-исследовательское судно, построенное в Финляндии фирмой «Холлминг». Оно принадлежит к новой серии исследовательских специализированных судов среднего водоизмещения (2600 т), укомплектовано современным навигационным оборудованием со спутниковой привязкой, многолучевым эхолотом, специальной автоматизированной батометрической установкой для проведения газогидрогеохимических исследований водных масс и комплексом ЭВМ, способным обслуживать все научное и навигационное оборудование судна. По рекомендации

¹ Gschwend Ph. M., MacFarlane J. K., Newman K. A. — Science, 1985, v. 227, № 4690, p. 1033.



Научно-исследовательское судно Геологического института АН СССР «Академик Николай Страхов».

Схема маршрута первого рейса научно-исследовательского судна «Академик Николай Страхов», начавшегося и завершившегося в Калининграде. Прямоугольниками обозначены полигоны в районах гор Атлантис, Крузер, Крылова и Безымянной.



Геологического института названию судну дано в память о крупнейшем советском ученом литологе-геохимике Николае Михайловиче Страхове (1900—1978), внесшем огромный вклад в изучение геохимии Мирового океана и процессов осадкообразования.

Летом 1985 г. (22 июня — 2 сентября) новое судно совер-

шило свой первый рейс. Эта экспедиция (начальник И. И. Бебешев, научный руководитель — автор этого сообщения) была организована в соответствии с программами «Литос» и «Седимент» для геолого-геофизических исследований отдельных поднятий на абиссальных (глубоководных) плитах восточного сектора Центральной Атлантики.

Районы работ были выбраны таким образом, чтобы охватить различные структурно-морфологические элементы дна Атлантического океана. В них входили лежащие на разной глубине участки абиссальных плит и подводные вулканические горы на этих плитах, характеризующихся разной геодинамической обстановкой. Система подводных гор Атлантис, Плейто, Крузер, Йер и Грейт-Метеор — одно из самых сложных и интересных поднятий восточного сектора Центральной Атлантики: оно расположено близко к Азорской «тройной точке» и отличается инверсией в химическом составе вулканических пород.

Использование многолучевого эхолота позволило получить новые данные о рельефе гор Атлантис, Крузер, Крылова и Безымянной. Характер рельефа гор Атлантис и Крузер свидетельствует об их длительном развитии в субэвральном условиях. Одинаковый батиметрический уровень поднятий на разных концах гряды от горы Атлантис до горы Грейт-Метеор говорит о том, что все звенья этой горной цепи развивались в едином ритме, как одно целое. Следовательно, геологическая история этой океанической структуры никак не согласуется с концепцией «горячей мантийной точки». Подводные горы Крылова и Безымянная представляют собой отдельные вулканические постройки, деформированные в соответствии с особенностями региональной тектоники разных частей Атлантического океана.

Осадочный чехол в зоне сочленения Зеленомысской и Канарской абиссальных плит имеет, по данным непрерывного сейсмического профилирования, сравнительно небольшую мощность. Как правило, осадки про-

слеживаются до подножия гор, где их мощность колеблется от 100—150 до 200—300 м, а в отдельных «карманах» достигает 400—600 м. Склоны и вершины гор фактически лишены рыхлого осадочного покрова.

Акустический фундамент в зоне сочленения абиссальных плит (район разлома Кейн) характеризуется деформированной поверхностью, а в районе гор Крылова и Безымянной осложнен различными тектоническими нарушениями в виде разломов и резких ступенчатых поднятий блокового облика. Некоторые из этих нарушений скрыты осадочным чехлом и на поверхности проявляются только в рельефе, другие затрагивают не только фундамент, но и осадочный чехол, образуя в нем куполообразные структуры.

Микроскопическое изучение эндогенных пород, поднятых драгами на горах Крузер и Крылова, показало, что эти вулканические постройки сложены породами, которые принадлежат к разным петрогенетическим сериям, сформировавшимся в различных физико-химических условиях: на горе Крузер — к щелочной трахибазальтовой серии, образующейся при высоких температуре и давлении, на горе Крылова — к щелочной оливин-базальтовой, образующейся при более низких значениях этих параметров. Развитие обоих вулканов протекало многоактно, степень дифференциации пород у них различная. Как правило, породы изменены постмагматическими процессами. В большинстве случаев они имеют изохимический характер, т. е. при различном минеральном облике близки по химическому составу. Однако встречаются вулканиды интенсивной гидротермальной переработки со значительной трансформацией химического состава пород. Принадлежность вулканических пород, слагающих отдельные поднятия на абиссальных плитах, к различным петрогенетическим сериям, особенности их минерало-петрографического состава, типа и степени дифференцированности указывают не только на разные условия формирования первичных расплавов по температуре и давлению, но и на веществ-

ную латеральную неоднородность мантийного субстрата.

Сотрудники Геологического института АН СССР планомерно прорабатывают гипотезу о вещественной неоднородности мантийного субстрата как в вертикальном, так и в горизонтальном его направлениях. В экспедиции получен новый фактический материал, однозначно указывающий на то, что первичные магматические расплавы, за счет которых возникли вулканические поднятия, формируются на значительно больших глубинах по сравнению с расплавами, образующими вулканы самих абиссальных плит, несущих эти поднятия.

На основе газогидрогеохимического профилирования толщи морской воды выявлены контрастные различия температурной, динамической и окислительно-восстановительной обстановки в разрезах водной толщи над горными сооружениями и абиссальными равнинами.

Обширный материал, полученный в экспедиции первого рейса научно-исследовательского судна «Академик Николай Страхов», продолжает тщательно исследоваться в лабораториях института.

Б. П. Золотарев,
кандидат
геолого-минералогических
наук
Москва

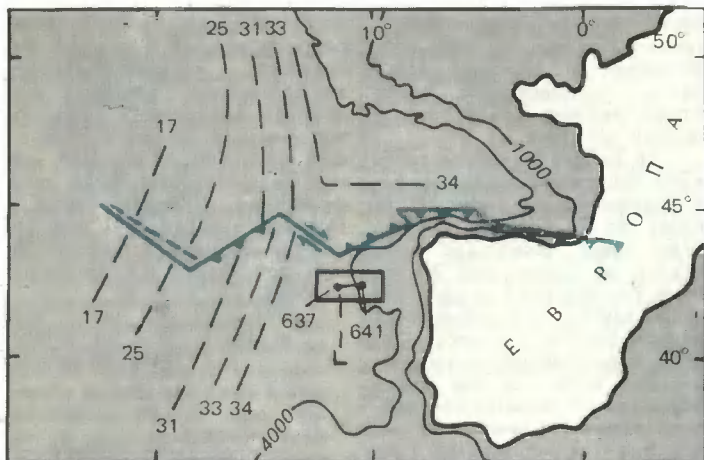
Геология

103-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн»

В 103-м рейсе (апрель — июль 1985 г.) изучалось строение зоны перехода от континента к океану в районе Пиренейского п-ова, история ее развития в процессе отделения от Северо-Американского материка. Работами руководили Е. Л. Уинтерер (E. L. Winterer; Скриппсовский океанографический институт, США) и Г. Буайо (G. Boillot; Университет Пьера и Марии Кюри, Франция). На широтном разрезе (см. рис.) были пробурены пять скважин, принеших ряд неожиданных результатов.

Бурение велось в нижней части континентального склона — именно здесь ожидали встретить наиболее древние кристаллические и осадочные породы, характеризующие дорифтовую, рифтовую и послерифтовую фазы развития Юго-Западной Европы. Была сделана попытка вскрыть кристаллический континентальный фундамент. Одна из скважин (639) достигла слабометаморфизованных вулканогенно-осадочных пород позднюрского возраста (около 150 млн лет). Однако истинное положение фундамента осталось невыясненным: ввиду отсутствия надежных сейсмических данных бурение прекратили. Высказывается соображение, что он может залегать довольно глубоко, поскольку и в Португалии, и в районе Ньюфаундленда в структурных впадинах известны морские осадки не только юрского, но и триасового возраста (около 230 млн лет).

Бурение показало, что в течение поздней юры — раннего мела (150—140 млн лет назад), т. е. до разделения Европы и Северной Америки, в районе будущей континентальной окраины преобладали условия мелководного моря. За это время отложились около 400 м известняков и (в верхней части) доломитов. Кровля плотной карбонатной толщи дает сильное отражение, которое на сейсмических профилях и принималось ранее за континентальный фундамент. Раскол континентальной коры начался с образования серии грабенов; это произошло в раннем валанжине (135 млн лет назад), когда будущая окраина материка испытала резкое неоднородное (на разную глубину) погружение. Поверх дорифтовых мелководных карбонатных осадков отложилось около 3 м более глубоководных карбонатных и глинистых осадков. Грабены заполнены терригенными отложениями, не оставляющими сомнения в близости суши — источника сноса. Эти песчаные отложения накапливались в грабенах вплоть до начала го-терива (130 млн лет назад); позднее (130—115 млн лет назад) они сменились еще более глубоководными известково-глинистыми осадками открытого моря.



Основные структуры континентальной окраины Юго-Западной Европы.

-  Линейные магнитные аномалии
-  Трансформные разломы
-  Зоны сжатия (валы и поднятия)
-  Зона растяжения (подводный трог)
-  Район работ 103-го рейса и разрез скважин 637—641
-  Магнитная аномалия, созданная перидотитовым телом

В конце аптского времени (110 млн лет назад) раскалывание окраины континента завершилось, скорость седиментации резко упала. Именно в конце апта, согласно интерпретации магнитных аномалий, между Ньюфаундлендом и Пиренейским п-овом образовалась впадина с океанической корой — раскол континента сменился спредингом дна океана. В послерифтовую фазу на континентальной окраине и у ее подножия накапливались черные сланцы и красные глины — типичные глубоководные осадки открытого океана.

Бурение скважины 637 показало, что вблизи границы океанической и континентальной коры располагается вытянутый вдоль нее блок серпентинизированных перидотитов — воз-

можно, мантийный отторжец, внедрившийся на последнем этапе раскола континента, в момент образования океанического бассейна. С ним связана крупная магнитная аномалия.

Результаты бурения заставили участников рейса с сомнением отнестись к сделанной ранее интерпретации сейсмических данных, по крайней мере для обширной зоны континентальной окраины Юго-Западной Европы, где прогноз геофизиков не подтвердился.

JOIDES Journal, 1985, v. XI, № 3, p. 22—30 (США); Nature, 1985, v. 317, № 6033, p. 115—116 (Великобритания).

Геология

Никель космического происхождения

Канада стоит на одном из первых мест по добыче никеля: 20 % всей мировой добычи этого металла проводится в пределах так называемого Садберийского комплекса (провинция Онтарио). Еще в 1964 г. американский геолог Р. Дитц (R. Dietz) предположил, что комплекс возник при столкновении Земли с крупным метеоритом, поскольку в этом регионе часто встречаются конусы дробления и другие геологические структуры, образующиеся обычно при мощном ударном воздействии. Поэтому и

высокую концентрацию никеля в породах Р. Дитц считал привнесенной метеоритным телом.

Однако столь крупное небесное тело неизбежно подверглось бы при соударении с Землей полному испарению и не оставило бы никелевых образований. Поэтому большинство геохимиков склонны были видеть источник образования Садберийского комплекса в вулканической деятельности, которая также могла привести к дроблению пород в значительных масштабах. Но при этом изверженные породы должны иметь состав, сходный с мантией Земли, а не с ее корой.

Группа сотрудников Рочестерского университета (США), возглавляемая А. Басу и М. Тацумото (A. R. Basu, M. Tatsumoto; Геологическая служба США), проведя анализ пород Садбери, установила, что соотношение различных изотопов неодима в них весьма близко к тому, что обычно наблюдается в земной коре континентального типа, и существенно отличается от глубинных пород мантии. Отсюда был сделан вывод, что породы образовались при соударении Земли с небесным телом, приведшим к гигантскому выделению энергии и плавлению коры, которая затем постепенно остывала.

Очевидно, богатые никелем руды Садбери формировались в ходе естественного процесса их обогащения еще в расплавленном состоянии. Такие металлы, как никель, медь, платина и родий, образовывали в соединении с серой вещества, нерастворяющиеся в других расплавленных породах; они отделились от остальной части расплава и оставались отделенными от нее при отвердевании. В результате и возник нижний слой, который разрабатывается на нынешних никелевых месторождениях.

Часть первоначального верхнего слоя сохранилась в пределах Садберийского комплекса в виде стекловатого покрова, в котором остались фрагменты вмещающих пород — остатки слоя, который первым претерпел отверждение.

По приближенным оценкам, диаметр столкнувшегося с Землей небесного тела

был близок к 10 км. Падение метеорита произошло около 1,8 млрд лет назад. За это время движения земной коры исказили первоначально существовавшую «циркообразную» зону падения, придав ей очертания эллипса размером 27 на 60 км. Центральная ее часть со временем опустилась относительно остальных ее районов, эрозия устранила верхние слои комплекса и обнажила сульфидные руды, уникально богатые металлом.

Science, 1985, v. 230, p. 436 (США); New Scientist, 1985, v. 108, № 1482, p. 24 (Великобритания)

Сейсмология

Изучается Мексиканское землетрясение

Катастрофическое землетрясение в Мехико (19 сентября 1985 г., магнитуда 7,8 по шкале Рихтера) стало объектом исследования широкого круга специалистов; результаты их работы должны существенно обогатить геофизику, геодинамику, сейсмологию, привести к усовершенствованию методов прогноза подобных событий, к повышению сейсмостойкости строительных сооружений.

Незадолго до катастрофы на территории центральной и западной части Мексики была развернута сеть из 20 сейсмических станций (сейчас она пополнилась еще девятью), оснащенных новейшим оборудованием. Одна ветвь этой сети оказалась вблизи эпицентра землетрясения, что позволило с достаточной точностью установить его координаты: 18,1° с. ш., 102,3° з. д. Часть сейсмических станций вытянута вдоль 400-километрового отрезка, по которому прошла сейсмическая волна от эпицентра землетрясения, находившегося у Тихоокеанского побережья, к столице. Данные этих станций позволяют судить о свойствах геологических пород, оказавшихся на пути распространения сейсмической волны. Сеть охватывает также область от Акапулько в направлении на север, к бассейну р. Бальсас на

границе между мексиканскими штатами Герреро и Мичоакан. Расположенное здесь так называемое «мичоаканское окно» сыграло важную роль в произошедших событиях.

В районе «мичоаканского окна» подземные толчки не регистрировались примерно 120 лет вплоть до 25 октября 1981 г., когда здесь произошло землетрясение магнитудой 7,3 по шкале Рихтера (но оно залегало весьма глубоко и существенных разрушений не вызвало). Области, примыкающие к «мичоаканскому окну», за это время неоднократно испытывали подземные толчки, в нем же самом, очевидно, накапливались напряжения. Район Мичоакана представляет собой продолжение подводного хребта и зоны разлома земной коры. Ороско. Этот хребет, пересекающий плиту Кокос, постепенно как бы подкальзывает под береговую часть Североамериканской плиты, в то же время сама плита Кокос погружается под Тихоокеанскую плиту — все это и создает напряженную сейсмическую обстановку.

Особую уязвимость городу Мехико с его 18-миллионным населением (включая пригороды) придает тот факт, что он построен на осушенном несколько столетий назад озере, бассейны которого заполнены неконсолидированными увлажненными осадками. Не исключено, что выносливость многих сооружений была ослаблена землетрясениями, происшедшими в 1978 г. в Оаксане и в 1979 г. в Герреро.

Индийские геофизики Х. Гупта и Дж. Неги (H. Gupta, J. Negi) еще в 1980 г. пришли к выводу, что между типом поверхностных сейсмических волн, проходящих в земной коре в том или ином районе, и его сейсмичностью (т. е. максимумом энергии возможных землетрясений) существует значительная корреляция. Анализ такой корреляции тогда же позволил им утверждать, что центральная область Мексики является районом высокого сейсмического риска. Считать это подлинным прогнозом было нельзя, поскольку отсутствовали конкретные указания места и времени сейсмических событий. Теперь авторы,

основываясь на тех же характеристиках района и анализе последнего катастрофического землетрясения, считают возможным предсказать здесь новые мощные толчки в ближайшее время: по их мнению, минувшая катастрофа была лишь форшоком (предварительным толчком) в преддверии еще более сильного землетрясения магнитудой свыше 8,5 по шкале Рихтера.

New Scientist, 1985, v. 107, № 1475, p. 21; v. 108, № 1480, p. 12 (Великобритания).

География

Сеть автоматических метеостанций в Тихом океане

В ходе выполнения международного проекта глобального исследования атмосферы над тропическими районами океана ("Tropical Ocean Global Atmosphere" — TOGA) значительно расширена сеть метеостанций, расположенных вдоль западного побережья Южной Америки и на экваториальных островах Тихого океана. Новые автоматические метеостанции установлены в 1985 г. Национальным управлением по изучению океана и атмосферы США (при взаимодействии с соответствующими странами) в отдаленных и слабо изученных районах: на о. Лобос, в Таларе и Калье (все три пункта — территория Перу); на о-вах Клиппертон (Франция), Рождества (Республика Кирибати), Бейкер (США), Науру (Республика Науру) и на атолле Капингамаранги (подопечная территория США). Именно в этих областях Тихого океана наблюдаются процессы, характерные для явления Эль-Ниньо¹, или так называемой Южной осцилляции — катастрофического потепления воздушной и водной среды, приводящего к серьезным экологическим последствиям.

¹ Подробнее см.: Федоров К. Н. Этот капризный младенец — Эль-Ниньо! — Природа, 1984, № 8, с. 65.

Как установлено, одним из важных предвестников Эль-Ниньо служит необычное ослабление ветров и резкие вариации других метеорологических параметров в тропической зоне Тихого океана. По мере развития начальных стадий Эль-Ниньо аномалии ветра усиливаются и смещаются из одной зоны в другую, что сопровождается изменениями в атмосферном давлении, температуре, солнечной инсоляции; предвестником Эль-Ниньо служит также резкое повышение температуры вод, омывающих побережье Перу в зоне апвеллинга. Раннее прогнозирование этого природного явления целиком зависит от регистрации всех указанных параметров. Данные новой метеосети помогут также решить ряд теоретических проблем океанологии и метеорологии, в частности ответить на вопрос, почему по мере развития Эль-Ниньо возникают значительные атмосферные аномалии на территории Эквадора и северной части Перу, а к югу от 7° ю. ш. они отсутствуют.

Каждая метеостанция снабжена 10-метровой метеобашней с измерительными приборами и солнечной батареей; телеметрически они связаны со спутником, на который передают в реальном времени ежесекундно собираемые показания скорости и направления ветра

(точность $\pm 0,5$ м/с; $\pm 2^\circ$), температуры воздуха ($\pm 0,1^\circ\text{C}$), барометрического давления (± 2 мбар), коротковолновой радиации (± 10 Вт/м²); со станций Талара и Кальяо, помимо этого, получают данные о температуре поверхностного слоя моря. Хранение и первичная обработка информации ведется Службой сбора данных Национального управления по изучению океана и атмосферы США в Сьютленде. Сеть рассчитана на работу в течение 10 лет, т. е. на все время осуществления международного проекта TOGA.

Eos (Transactions of the American Geophysical Union) 1985, v. 66, № 36, p. 627—628 (США).

Археология

Красители эпохи викингов

Группа археологов во главе с Ф. Томлинсоном (Ph. Tomlinson; Йоркский университет, Великобритания) вела в районе Коппергейта раскопки поселений, относящихся к эпохе завоеваний Британских о-вов викингами в IX—X вв. В ходе работ были обнаружены остатки существовавшей здесь красильной мастерской.

Болотистые условия местности способствовали сохранно-

сти растительных веществ, некогда применявшихся в качестве красителей для тканей. Найденные в виде остатков корней, стеблей и листьев в осадках бассейна (очевидно, служившего чем-то вроде красильного куба), растения идентифицированы как марена (Rubia tinctorum), дроп (Genista tinctoria), вайда красильная (Isatis tinctoria) и плаун (Diphasium complanatum).

Марена, корни которой дают красный пигмент ализарин, в естественной среде на Британских о-вах никогда не встречалась, но специально для крашения выращивалась нередко. В данном случае специалисты все же полагают, что это растение было привезено из континентальной Европы, возможно, викингами.

Плаун дифазийум служит источником синей, желтой и зеленой краски, но может использоваться и в качестве закрепителя для других пигментов.

Листья молодых побегов дропа красильного позволяют получать желтый цвет ткани, а в сочетании с вайдой — интенсивный зеленый.

Находка группы Ф. Томлинсона считается серьезным достижением в плане изучения древней технологии крашения.

New Scientist, 1985, v. 107, № 1470, p. 24 (Великобритания).

К сведению читателей

В начале 1987 г. издательство «Энергоатомиздат» выпустит в свет книгу «Ядерная и термоядерная энергетика будущего». Это сборник статей, опубликованных ранее в «Природе». В нем всесторонне рассматриваются проблемы, связанные с возможными путями развития энергетики. Анализируются перспективы использования энергии деления в реакторах на тепловых и быстрых нейтронах, вопросы безопасности на атомных электростанциях. Большое внимание уделено термоядерным исследованиям — как с магнитным, так и с инерционным удержанием плазмы. Обсуждаются возможности объединения в гибридных реакторах преимуществ ядерной и термоядерной энергетик. Авторы статей — академики Н. Г. Басов, Б. Б. Кадомцев, В. А. Легасов, другие советские ученые, известные своим вкладом в разработку проблем энергетик.

Предварительные заказы на эту книгу принимают все книжные магазины, распространяющие научно-техническую литературу. Для этого достаточно оставить в магазине открытку с указанием обратного адреса, названия книги и ее номера (245) по Плану выпуска литературы «Энергоатомиздата» на 1987 г.

Своевременное оформление предварительного заказа — гарантия того, что вы приобретете сборник «Ядерная и термоядерная энергетика будущего».

Наука — о переживании

В. А. Файвишевский,
доктор медицинских наук

Москва



Ф. Е. Василюк. ПСИХОЛОГИЯ ПЕРЕЖИВАНИЯ. (Анализ преодоления критических ситуаций). М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984, 200 с.

Исследование переживания человеком различного рода событий или состояний имеет в психологической науке свою, пусть и недолгую, историю. Ссылаясь на предшествующие работы, автор книги называет имена целого ряда ученых, в том числе советских психологов А. Н. Леонтьева, Ф. В. Басина и др. Но проблема переживания поставлена Ф. Е. Василюком настолько по-новому, что это дало основание В. П. Зинченко в его предисловии к книге говорить о системе изложенных

в ней психологических закономерностей как об открытии.

В чем же новизна концепции Ф. Е. Василюка?

Прежде всего в том, что переживание он рассматривает в непривычном для психологии аспекте — не просто как особый вид отражения в сознании субъекта тех или иных событий его жизни, не как форму созерцания, а как вид деятельности, которая имеет не только свои причины, но и свои цели, свои задачи.

Традиционные подходы к проблеме оставляли в стороне психические процессы, происходящие при переживании в том смысле этого слова, «в котором «пережить» значит перенести какие-либо, обычно тягостные, события, преодолеть какое-нибудь тяжелое чувство или состояние, вытерпеть, выдержать и т. д.» (с. 16). Именно эти процессы и стали предметом анализа Ф. Е. Василюка. Главный его замысел состоит в том, чтобы исследовать, как, посредством каких психологических преобразований человек выходит из жизненного кризиса.

Книга Ф. Е. Василюка чисто теоретическая, и автор вводит в ней ряд новых категорий, давая каждой более или менее четкую дефиницию. Так, критической ситуацией он называет ситуацию, когда человек не может реализовать внутренние потребности, ценности, замыслы и т. п. Субъективно это ощущается как невозможность жить и интерпретируется как отчаяние, безнадежность, «понимание» бессмысленности жизни и т. п. Борьба с ощущением невозможности жить и есть переживание, которое представляет собой работу, направленную на преодоление некоторого «разрыва» жизни, на восстановление ощущения ее осмысленности. Таким образом, переживание — это необходимая душевная работа, деятельность, направленная на «производство смысла».

Однако переживания требует не всякое жизненное неблагополучие, а только такое, которое принципиально значимо для субъекта. Принципиально значимые же ценности (или внутренние необходимости) различны у различных типов личности, или, по Ф. Е. Василюку, различных форм жизни.

Существует несколько (но не так уж много) классификаций типов личности, например, Гиппократова — по признаку темперамента, Э. Кречмера — основанная на связи строения тела с характером, И. П. Павлова — по типу мышления и т. п.

Ф. Е. Василюк строит свою типологию. Она базируется на совершенно новом принципе, на характере отношений между внутренним аспектом психологического мира человека и внешним его аспектом — т. е. миром, в котором он живет.

При предельной схематизации положения вещей внутренних, душевный жизненный мир человека может быть либо простым, либо сложным, а внешний мир — легким или трудным. Отсюда вытекают четыре возможных формы жизни, которые автор обозначает следующим образом: 1) внутренне простой и внешне легкий жизненный мир; 2) внутренне простой и внешне трудный; 3) внутренне сложный и внешне легкий и 4) внутренне сложный и внешне трудный. Каждой из этих форм жизни присуще соответствующее мироощущение, для каждой из них характерны свои особые критические ситуации и специфические переживания, помогающие преодолевать их.

Эта типология не заменяет другие системы классификации личности и не противоречит им. Она представляет собой иной срез, иной совершенно новый аспект рассмотрения личности. В этом аспекте жизненные миры описываются следующим образом.

Простой внутренний (духовный) мир — это отсутствие структурированности и сопряженности отдельных моментов жизни. Здесь нет дифференциации потребностей, нет разнообразия мотивов, нет принципов, нет осознания самого себя. Каждое отдельное отношение с внешним миром воспринимается и реализуется так, как если бы оно было единственным. Этот внутренний мир — как бы целое без частей или части без целого.

Жизнь субъекта с **простым внутренним миром** в условиях **легкого внешнего мира**, когда любая потребность реализуется сразу, без усилий, — это в предельном случае (чисто теоретически) полностью открытое в мир бытие, окутанное «бесконечным благом», в котором неизвестны никакие «там», «тогда», «потом», а все лишь «здесь», «сейчас» и «всегда». Душа такого субъекта не обременена прошлым, у него нет забот о будущем. Ему не нужны и многие психические функции, даже внимание и память. Таково мироощущение данного абстрактного существа. Впрочем, реальным его прототипом может служить мироощущение плода во чреве матери и, хотя и в меньшей степени, новорожденного младенца, все потребности которого безотлагательно удовлетворяются благодаря материнскому уходу.

Пласт такого мировосприятия, естественного для младенца, может доминировать и в жизни взрослых людей, определяя инфантильное восприятие ими бытия. Все потенциальное многообразие эмоций у таких лиц сводится к удовольствию и неудовольствию, центральный принцип их мироощущения — **принцип удовольствия, гедонизм**.

Такие существа оказываются психологически беззащитными, встречаясь с жизненными трудностями. Самое незначительное, с внешней точки зрения, лишение будет, как пишет автор, вызывать у них «вселенский ужас». На возникшую критическую ситуацию (у них это — неудовлетворение потребности) такие существа не способны ответить ни практической деятельностью, ни преобразованием своего психическо-

го мира, за исключением бессознательной психологической защиты — искаженного восприятия реальности, отрицания ее, «невидения» угрозы. На ситуацию невозможности удовлетворить свою потребность они часто отвечают внутрителесными изменениями (а, возможно, в некоторых случаях и психосоматическими заболеваниями). Специфической реакцией на критическую ситуацию существ внутренне простого и внешне легкого мира является стресс.

Особенностью **внутренне простого и внешне трудного мира** является наличие препятствий со стороны внешнего мира немедленному удовлетворению потребности. Направленная на удовлетворение потребности деятельность существа этого типа в силу простоты внутреннего мира не подвержена никаким отвлечениям, субъект не знает сомнений, колебаний, чувства вины и мук совести, т. е. никаких препятствий и ограничений со стороны внутреннего мира. Такому субъекту известны только одни препятствия — внешние. Мир озадачивает таких людей только вопросами технического характера: «Как сделать? Как достичь?»

Для решения этой постоянно возобновляющейся жизненной задачи главное условие — адекватно отражать реальность, чтобы правильно действовать. Главный закон внутреннего простого и внешне трудного мира — **принцип реальности**. Переживание существ этого типа исходит из того, что реальность «не слышит убеждений», борьба с ней бесплодна, ее нужно принять такой, какова она есть, и внутри заданных ею границ попытаться добиться возможности удовлетворения потребности. Образцом поведения при этом является прилагивание, подгонка внутреннего, субъективного к внешнему, объективному, к реальности.

Однако трудно согласиться с автором, когда он приписывает данному личностному типу такие черты, как одержимость, «истовость», охваченность одной идеей, фанатизм, ибо подобные качества предполагают активное преодоление их носителем внешних трудностей, переделку реальности, что про-

тиворечит определяющей характеристике этого жизненного мира.

Сложный внутренний мир характеризуется множественностью взаимосопреженных мотивов, стремлений, ценностей, принципов и т. п. В **легком внешнем мире**, где, в абстракции, все возможно, для внутреннего сложного мира главные проблемы связаны с **выбором**. Решение этой проблематики осуществляется благодаря особому психологическому «органу» — ценностному сознанию, ибо ценность — единственная мера сопоставления мотивов. **Принцип ценности** — высший принцип, которому подчиняется сложный и легкий жизненный мир, а специфической критической ситуацией и специфическим переживанием для этого мира является **внутренний конфликт**.

Он может возникнуть по причинам двоякого рода. Одна из них — это невозможность ни осуществить выбор, ни отказаться от него. Причина другого рода — исчезновение одного из важных жизненных отношений: утрата любимого человека, крушение главного дела жизни и т. п., что означает конфликт между сознанием и бытием, которого сознание в таком виде принять не может. Во всех этих случаях возникает разлад всей системы жизни, что субъективно ощущается как нарушение или даже утрата ее смысла.

Преодоление этого разлада осуществляется путем ценностно-мотивационных перестроек во внутреннем мире, заканчивающихся формированием новой иерархии внутренних ценностей, что представляет собой истинно творческую работу по созиданию своего духовного мира. На высших ступенях развития ценностного сознания, как пишет автор, «ценность из «видимого», из объекта превращается в то, благодаря чему видится все остальное — во внутренний смысловой свет» (с. 127). При этом вся жизнь осмысливается с точки зрения навсегда избранной главной ценности, все частные выборы оказываются как бы наперед предreshенными, и внешние обстоятельства уже ничего не могут изменить в сформированной системе внутренних ценностей. Такое состояние соз-

нания и духа есть мудрость.

Во внутренне сложном и внешне трудном жизненном мире основная проблема состоит в реализации субъектом своих главных замыслов в противодействующих этому обстоятельствах одновременно с задачей сохранения системы внутренних ценностей — идеалов, принципов, стремлений и т. п.

Основным психологическим инструментом, позволяющим постоянно решать эту проблему, является воля. Назначение воли состоит в воплощении идеальных замыслов в реальность не путем приспособления к последней, а путем преодоления противодействия, оказываемого реальностью.

Деятельность по реализации своих замыслов, т. е. по самореализации, есть творческая работа, и поэтому творчество — высший принцип данной формы жизни.

Когда реализация жизненного замысла становится невозможной, создается ситуация кризиса — специфическое для данного типа личности критическое состояние. Оно может возникнуть при полной отрешенности от всяких эгоцентрических соображений, когда все устремления человека направлены на служение высшей ценности. (Предельная точка этого состояния — готовность к самопожертвованию.) Тогда критическая ситуация создает психическую возможность подвига.

Таким образом, если принцип удовольствия (характерный для первого типа личности) может привести к регрессу личности, а принцип реальности (второй тип), в лучшем случае, удержать ее от деградации, то принципы ценности (третий тип) и творчества (четвертый тип) способны даже потенциально разрушительные события жизни превратить в точки духовного роста личности. Этому росту служат процессы переживания.

Создав свою оригинальную систему формально-психологических закономерностей переживания, Ф. Е. Василюк сам же отмечает ее условно-абстрактный характер, указывая, что в реальной жизни дело обстоит гораздо сложнее. Поддерживая тот верный взгляд, что ход про-

цессов переживания в содержательном аспекте во многом определяется культурно-историческими детерминантами, автор отмечает, что эта детерминация также имеет свои особые закономерности, проявляющиеся в определенных стереотипах восприятия и психологической переработки психотравмирующих событий. Для их обозначения автор употребляет термин «схематизмы сознания». В последней главе на примере психологического анализа переживания героя романа Ф. М. Достоевского Родиона Раскольникова Ф. Е. Василюк интересно иллюстрирует свою концепцию влияния культурно-исторических обстоятельств на «схематизмы сознания».

Хотя книга Ф. Е. Василюка, как уже подчеркивалось, носит чисто теоретический характер, она направлена на практику, на последующую разработку методов специализированной психологической помощи людям в выборе оптимальных путей переживания.

В поисках единства физики

И. К. Юрьев

Москва

В 1927 г. немецкий математик Р. Курант писал, что большая часть математиков и физиков его времени кажется ему похожей на «среднего современного человека, думающего, что чтение провинциальных газет позволяет приобрести политические взгляды и даже участвовать в политике», в то время как на самом деле для этого нужно глубокое знание истории. Так же и в физике и математике, считал Курант, нужно знать историю науки, чтобы понять события, происходящие сегодня¹. Конечно, это утверждение не



В. П. Визгин. ЕДИНЫЕ ТЕОРИИ ПОЛЯ В ПЕРВОЙ ТРЕТИ XX ВЕКА. Отв. ред. Л. С. Поляк, М.: Наука, 1985, 304 с.

относится к числу абсолютных истин. Вряд ли, скажем, в период создания квантовой механики В. Гейзенберг или П. Дирак думали об истории физики — ситуация была новой и требовала новых решений.

Если, однако, говорить о современных попытках создания единой теории поля, охватывающей все известные взаимодействия, то утверждение Куранта совершенно справедливо. В наши дни публикуются сотни работ по единой теории поля, но ситуация обнаруживает поразительную стабильность. При этом истоки многих идей, обсуждающихся сейчас, корни современных надежд и разочарований уходят в двадцатые годы нашего столетия. Поэтому появление книги, где описано зарождение программы единой теории поля, может принести большую пользу.

В начале нашего века были известны только два вида взаимодействий: электромагнитное и гравитационное. Хорошо известно, что ньютоновская теория всемирного тяготения рассматривала гравитацию как дальнодействующую силу. Сам Ньютон и его ученики считали дальнодействие физически неудовлетворительным и обсуж-

¹ Courant R.— Die Naturwissenschaften, 1926, № 36, S. 813.

дали гипотезу, согласно которой тяготение передается эфиром. В XIX в. после успехов волновой теории света О. Ж. Френеля и особенно подтверждения электромагнитной теории Дж. Максвелла в опытах Г. Герца существование эфира стало считаться доказанным. В связи с этим воскресла идея передачи тяготения через эфир, и первая попытка описать гравитацию таким образом была предпринята еще самим Максвеллом. Отсюда уже было недалеко до идеи единого рассмотрения электромагнетизма и гравитации, и первые работы такого рода, упоминаемые в книге В. П. Визгина, были сделаны на рубеже XX в. Г. А. Лоренцом и В. Вином.

Работа Эйнштейна 1905 г. по частной теории относительности радикально изменила парадигму теоретической физики: если раньше считалось, что в конечном счете «все» сведется к механике эфира, то теперь поля — электромагнитное и гравитационное — стали рассматриваться как независимые сущности.

В десятилетия Эйнштейн приступил к построению полевой теории гравитации, которая привела к геометризации тяготения; стало ясно, что геометрия пространства-времени в присутствии полей тяготения отлична от геометрии частной теории относительности. В это же время Г. Ми пытался построить нелинейную электродинамику, в которой заряды были бы решениями уравнений поля.

Для завершения программы Эйнштейна много сделал Д. Гильберт, впервые нашедший уравнения гравитационного поля при наличии материи. Гильберт, однако, использовал для описания материи теорию Ми и ошибочно утверждал, что построил теорию поля — вывел уравнение Максвелла из уравнений гравитации. В действительности Гильберт получил не четыре уравнения Максвелла, а четыре закона сохранения для электромагнитного поля.

«Популярная» история физики, так ее называет историк науки Дж. Холтон², припи-

сывает идею (мечту) о создании единой теории Эйнштейну. Как убедительно показано в книге В. П. Визгина, первая попытка создания такой теории в рамках полевой парадигмы была сделана Гильбертом, а первая настоящему геометризованная теория поля принадлежит Г. Вейлю.

Эйнштейн первоначально относился к программе единой геометрической теории поля по крайней мере настороженно, и только постепенно, в сущности лишь после создания квантовой механики, которую он, как хорошо известно, не принял, построение единой теории электромагнетизма и гравитации стало его основной целью.

Содержание книги несколько выходит за хронологические рамки, указанные в заглавии. Она состоит из 6 глав.

Глава I — «Электромагнитно-полевая программа синтеза физики», где, в частности, кратко описаны относящиеся к 90-м годам прошлого века попытки сведения «всего» к эфиру, рождение теории Ми и некоторые другие ранние теории объединения электромагнетизма и гравитации, предшествовавшие общей теории относительности.

В главе II «Общая теория относительности — ядро программы единых геометризованных теорий поля» рассказано о рождении единой теории Гильберта и проанализирована позиция Эйнштейна в это время.

Глава III «Теория Вейля — первая подлинно геометризованная единая теория поля» содержит, кроме изложения теории Вейля, яркое описание начала его научной карьеры.

В главе IV «1921 год — узел в развитии единых геометризованных теорий поля» рассматривается развитие программы построения единой теории на фоне развития квантовой механики. Здесь описано несколько появившихся в 1921 г. новых единых теорий, в том

числе пятимерная теория Калуцы.

В главе V «Путь Эйнштейна: десятилетие надежд и разочарований» метод исследования изменен: прослеживаются не все работы по единым геометрическим теориям, а путь Эйнштейна, начиная с его работы 1923 г. по аффинной теории поля и кончая переездом в Принстон в 1933 г.

Содержание главы VI «Роль единых геометризованных теорий поля в генезисе и развитии квантовой теории» шире ее названия. Наряду с темой, указанной в заглавии, в ней рассмотрена, например, история вектор-потенциала, начиная с «электротонического состояния» М. Фарадея. Основное же ее содержание — это история превращения вещественного каллибровочного преобразования теории Вейля в комплексное фазовое преобразование волновой функции электрона в квантовой механике, соответствующее калибровочной инвариантности квантовой электродинамики³. Глава заканчивается появлением нелинейной калибровочной теории, называемой обычно теорией Янга — Миллса.

Примерно с 1978 г. мы знаем, что как электрослабое, так и сильное взаимодействие описываются калибровочными теориями янг-миллсовского типа. Теория гравитационного взаимодействия — это также калибровочная теория. В некотором смысле ситуация похожа на ситуацию 1920 г., когда физики знали только два взаимодействия — электромагнитное и гравитационное — и пытались их объединить. Это привело к воскрешению многих старых идей, в том числе теории Калуцы — Клейна и теории Вейля. Конечно, наряду со старыми идеями появились и новые, прежде всего суперсимметрия и теория струн. Кроме того, все рассматривается в квантовой, а не в классической теории поля. Тем не менее старая идея получения частиц как классических решений, которую обсуждал еще

эксперимент. — В сб.: Эйнштейновский сборник. 1972. М., 1974, с. 104. Под «популярной историей» подразумевается история, излагаемая в учебниках, юбилейных речах и других текстах такого рода.

³ См.: Ансельм А. А. В поисках единой теории фундаментальных взаимодействий. — Природа, 1980, № 6, с. 9; № 7, с. 63.

² Холтон Дж. Эйнштейн, Майкельсон и «решающий»

Ми, тоже воскресла, и такого рода решения, например монополи Т'Хоофта—Полякова, о которых писалось в «Природе»⁴, получаются теперь в калибровочных теориях поля, в рамках классического приближения.

В этой ситуации материал, содержащийся в книге, представляет не только исторический, но, так сказать, и практический интерес. Книга может служить для первоначального ознакомления с массивом научных работ, возможно, не утративших актуальности.

Разумеется, исследование большого и сложного корпуса работ не может быть свободно от недостатков. В качестве одного из них отмечу, что автор не заметил ошибки Гильберта, о которой говорилось в начале рецензии, и пишет, что Гильберт получил уравнения Максвелла, но потом его результат стали рассматривать как вывод законов сохранения.

⁴ Монастырский М. И. Монополи и вихри: от Дж. Максвелла до наших дней.— Природа, 1985, № 5, с. 62.

В разделе VI было бы уместно упоминание работы О. Клейна 1938 г.⁵, где были получены в теории типа Калуцы—Клейна уравнения, близкие к уравнениям Янга—Миллса.

В этой же главе упоминается о предложении В. Паули сделать изотопическую инвариантность калибровочной. Паули был весьма влиятельным теоретиком, и я склонен думать, что это высказывание индуцировало работу Ч. Янга и Р. Миллса, а не просто ей предшествовало. Аргументом в пользу этого является тот факт, что одновременно и независимо аналогичные уравнения были получены в Кембридже Р. Шоу⁶. Этот довод, конечно, не является доказательством, но во всяком случае о работе Шоу следовало бы упомянуть.

⁵ Текст работы О. Клейна перепечатан в лекциях: Окунь Л. Б. Введение в калибровочные теории. М.: МИФИ, 1984.

⁶ Цит. по Салам А.— Усп. физ. наук, 1980, вып. 132, с. 229.

Наконец, последнее замечание. В. П. Визгин отказался от попыток составить полный список источников по исследуемому им сюжету. Мне же кажется, что такой перечень, составленный по основным физическим журналам, был бы уместен. Было бы интересно, например, видеть график числа работ по единой теории поля как функцию времени. Это сделало бы картину приливов и отливов интереса к предмету точнее и нагляднее.

Книга содержит обширный список литературы (около 400 названий) и снабжена хорошим именным указателем.

Выполнить требование Куранта — знать историю своей специальности физику-теоретика или математику — в 1985 г. намного легче, чем в 1927 г. Сейчас существует обширная литература по истории физики и истории математики. Книга В. П. Визгина тем не менее уникальна — историю единых теорий поля до него никто написать не пытался.

НОВЫЕ КНИГИ

Космология

У. Бёрке. ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ, ГЕОМЕТРИЯ, КОСМОЛОГИЯ. Пер. с англ. Ю. В. Граца, В. И. Хлебникова, З. А. Штейнграда. Под ред. Д. В. Гальцова. М.: Мир, 1985, 416 с., ц. 2 р. 10 к.

В основу этой книги, автор которой — профессор Калифорнийского университета, положен прочитанный им курс лекций. Книга содержит изложение специальной и общей теории относительности и введение в современную теорию строения Вселенной. Главная задача автора — сделать понятным физическое обоснование и дать об-

щее осмысление геометрических структур, составляющих основу наших представлений о пространстве-времени.

В отличие от большинства изданий такого рода в книге У. Бёрке найден удачный компромисс между степенью абстрактности применяемых математических средств и конкретным физическим содержанием. Изложение ведется на современном языке дифференциальной геометрии. В книге много интересных и неожиданных примеров, выявляющих существо таких понятий, как метрика, системы отсчета, собственное время и т. д.

География

УРБАНИЗАЦИЯ И РАЗВИТИЕ ГОРОДОВ В СССР. Отв. ред. И. И. Сигов. Л.: Наука, 1985, 256 с., ц. 1 р. 90 к.

Монография, подготовленная в основном сотрудниками Института социально-экономических проблем АН СССР, а также других научных учреждений Москвы, Ленинграда, Донецка и Владивостока, посвящена одной из ярких междисциплинарных тем современной жизни — урбанизации. Усилия специалистов различного профиля — географов, социологов, экономистов, философов, архи-

текторов, математиков — были нацелены на попытку теоретического обоснования урбанизации как исторически определенной формы территориальной организации общества. В книге исследованы общие черты развития крупных городов СССР на современном этапе, тенденции и пути повышения эффективности производства в крупном городе, а также особенности социального развития крупных городов, в частности демографические и экологические сдвиги, изменения в состоянии здоровья населения и т. п. В приложение вынесены таблицы, характеризующие структуру и динамику городского расселения в СССР. Некоторые регионы (например, Дальний Восток) рассмотрены в монографии более подробно, чем другие. Практики градостроительства извлекают из монографии сведения, которые, возможно, будут учтены при планировании мер, направленных на дальнейшее совершенствование размещения производства, социальной инфраструктуры в городах, организации в них благоприятной среды жизнедеятельности для людей.

Информатика. Социология

В. Ю. Боров. СРЕДСТВА МАССОВОЙ ИНФОРМАЦИИ: ИДЕОЛОГИЧЕСКИЕ И КУЛЬТУРНО-КОММУНИКАТИВНЫЕ АСПЕКТЫ. М.: АН СССР, МО ФО ТВБАУЛ, 1985, 272 с.

Книга посвящена актуальной теме — влиянию на личность, культуру и общество средств массовой коммуникации (фотографии, кино, телевидение, радио, дизайн и т. д.). В. Ю. Боров предпринял попытку наметить методологические подходы к этой проблематике. В таком аспекте он и анализирует основные точки зрения советских и зарубежных авторов на теорию средств массовой коммуникации, уделяя главное внимание работам последнего десятилетия.

В книге сформулирована убедительная концепция развития способов и форм передачи культуры от фольклорной традиции и рукописного текста к книгопечатанию и, наконец, к таким современным средствам

массовой информации, как космическое телевидение и видеокультура. Различные линии исследования сведены воедино в итоговой диаграмме, раскрывающей культурно-историческую эволюцию различных систем социальной связи и конкретных механизмов наследования культуры.

Текст насыщен запоминающимися примерами, что делает содержание монографии интересным не только для узкого круга специалистов, но и для многих читателей, не имеющих базового философского образования. Хорошую помощь неспециалистам дает приведенный в приложении словарь основных терминов теории массовой коммуникации.

Науковедение

А. Азимов. ЯЗЫК НАУКИ. Пер. с англ. И. Э. Лалаянца под ред. Б. Д. Сергиевского. М.: Мир, сер. «В мире науки и техники», 1985, 280 с., ц. 75 к.

В каждой области науки, техники и технологии существует свой специфический язык, понятия и термины которого часто не ясны даже специалистам-смежникам. В некоторых случаях к этим трудностям добавляется еще сложность адекватного перевода терминов, возникающих в языке той страны, где сделано открытие или научно описано то или иное явление.

Если подобные проблемы существуют у специалистов-смежников, то можно себе представить, насколько они усугубляются для тех, кто не имеет высшего естественнонаучного или технического образования.

«Кажется, ученые специально скрывают свои тайны от простых смертных, набрасывая на них покров таинственности», — шутит известный американский популяризатор науки Айзек Азимов. Пытаясь приподнять этот покров, он составил словарь ключевых современных научных терминов, отобрав около 250 из них на свой вкус из различных областей математики, физики, астрономии, химии,

биологии, медицины. Объясняя значение и происхождение слов, автор рассказывает об истории научных открытий, а иногда и заблуждений. Много внимания уделено корням современной научной лексики, показана ее тесная связь с латинским и древнегреческим языками.

Науковедение

А. Н. Антонов. ПРЕЕМСТВЕННОСТЬ И ВОЗНИКНОВЕНИЕ НОВОГО ЗНАНИЯ В НАУКЕ. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985, 171 с., ц. 75 к.

Это одна из первых попыток дать целостную картину развития науки на базе анализа научных традиций. Новое научное знание — основной продукт развития науки — рассматривается не только как результат развития самого знания, но и как продукт социальной деятельности. Автор выделяет три основных смысла, в которых употребляется термин «традиция»: как шаблон поведения, как база для инноваций и как исторически нормированная и развивающаяся деятельность научных сообществ. Последний смысл термина положен в основу анализа возникновения и развития европейской науки Нового времени.

В книге дается оригинальная типология исследовательских программ. С точки зрения автора, в основе исследовательской программы лежит «идея» как специфическая форма научного познания. Это понятие позволяет органично связывать как познавательный, так и социальный контекст научной деятельности. Кроме общего изучения традиций в науке, автор анализирует процесс возникновения нового знания в рамках специфических традиций — научных школ.

Счастливые числа

Р. Фейнман

Как-то раз, сидя в гостинице Принстонского университета, я стал свидетелем разговора двух студентов-математиков о разложении e^x в ряд, который выглядит как $1+x+\frac{x^2}{2!}+\frac{x^3}{3!}+\dots$. Каждый член этого ряда получается умножением предыдущего члена на x и делением на следующее число. Чтобы получить, например, член, идущий за $x^4/4!$, нужно умножить $x^4/4!$ на x и разделить на 5. Это очень просто. В детстве я был просто очарован рядами и часто «играл» с ними. Я вычислил число e с помощью упомянутого ряда и убедился, как быстро убывают его члены.

Я встал в разговор математиков и что-то промямлил насчет того, что с помощью этого ряда легко вычислить число e в любой степени (для этого нужно только подставить соответствующее значение x).

— Вот как? — сказали они. — Тогда вычисли e в степени 3,3.

Кажется, это сказал Тьюки, слышавший известным шутником.

Я ответил:

— Это просто. Будет 27,11.

Тьюки знал, что вычислить это все в уме совсем не просто.

— Скажи, как ты это получил?

Второй парень сказал:

— Ты ведь знаешь Фейнмана, он просто нас дурачит. Ответ наверняка неправильный. Они пошли за таблицами, а пока они ходили, я вычислил еще пару цифр: 27,1126.

В таблицах они нашли ответ.

— Все верно, но как ты это сделал?

— Я просто просуммировал ряд.

— Так быстро это сделать невозможно. Ты наверняка знал ответ. Как насчет того, чтобы найти e в кубе?

— Знаешь, — сказал я, — это трудная работа. По одной штуке в день вполне достаточно.

— А-а, он просто дурачит нас, — обрадовались они.

— Ну, ладно, — ответил я, — будет 20,085.

Пока они искали число в таблице, я вычислил еще несколько цифр. Они пришли в страшное возбуждение, потому что и на этот раз я оказался прав.

И вот эти «великие математики» ломают себе голову над тем, как мне удастся вычислять e в любой степени!

Один из них говорит:

— Просто невозможно, чтобы он подставлял вместо x число и суммировал ряд, — это слишком сложно. Здесь какой-то фокус. Нельзя просто так взять и возвести e в какую-нибудь странную степень вроде 1,4.

— Ладно, — говорю я, — это трудная работа, но для вас я сделаю. Получится 4,05.

Пока они проверяли по таблице, я добавил еще несколько цифр, и сказав: «На сегодня хватит!» — удалился.

А на самом деле все было так: случайно я знал три числа. Логарифм 10 по основанию e , равный 2,3026, — это нужно для перехода от основания 10 к основанию e (иными словами, я знал, что e в степени 2,3 очень близко к 10); необходимый при расчете периода полураспада радиоактивного вещества логарифм 2 по основанию e , равный 0,69315 (я знал, что e в степени 0,7 равно примерно 2); и наконец, я знал зна-

чение числа e (в первой степени), равное 2,71828.

Первое число, заданное мне, было e в степени 3,3. Это есть e в степени 2,3 (примерно равное 10), умноженное на e — т. е. примерно 27,18. Пока ребята ломали голову над тем, как я все это проделываю, мне удалось вычислить, к каким изменениям приведет поправка 0,0026: значение 2,3026 чуть-чуть велико.

Это была чистая удача; я знал, что другую степень e мне вычислить не удастся. Но тут парень заказал e в степени 3 — это будет произведение e в степени 2,3 на e в степени 0,7, или примерно 10, помноженное на 2. Я знал, что это 20 с копейками, и пока они гадали, как я считаю, я сделал расчет не для 0,7, а для 0,693.

Теперь я абсолютно уверен, что это было последнее число, с которым мне повезло, но тут этот парень называет e в степени 1,4, которое есть произведение e в степени 0,7 на себя. Найти небольшую поправку к 4 — это единственное, что мне оставалось сделать.

А они так и не догадались, как я считал¹.

Работая в Лос-Аламосе, я обнаружил, что Ганс Бете абсолютно недосыгает в численных расчетах. Однажды, например, мы занимались подстановкой чисел в формулу, и нам нужно было возвести 48 в квадрат. Только я потянулся к механическому калькулятору, как он уже выдал:

— Это 2300.

Пока я нажимал кнопки, он добавил:

— Если хочешь точно, 2304.

¹Здесь допущена небольшая неточность, которую любознательный читатель может с легкостью обнаружить, строго следуя логике рассуждений автора. (Прим. ред.)

Машинка показала 2304.

— Ну и ну, просто замечательно, — сказал я.

— А ты не знаешь, как возводить в квадрат числа, близкие к 50? — говорит он мне. — Надо возвести в квадрат 50 — это будет 2500 — и вычесть умноженную на 100 разницу между 50 и твоим числом. В нашем случае это 2. Если хочешь сделать поправку, к квадрату добавляешь возведенную в квадрат разницу. Получишь 2304.

Минуту спустя нам понадобилось извлечь кубический корень из 2,5. На механическом калькуляторе кубические корни можно было извлекать только с помощью табличного значения, используемого в качестве первого приближения. Я полез в стол за таблицами (на этот раз это заняло больше времени), а Бете говорит: «Это примерно 1,35».

Я делаю расчет на калькуляторе, и ответ оказывается правильным.

— Как же ты это получил? — спрашиваю я. — Ты что, знаешь способ извлечения кубического корня?

— Ну, — говорит он, — логарифм 2,5 равен тому-то. Треть этого логарифма лежит между логарифмами 1,3 и 1,4, которые равны тому-то и тому-то. Остается только проинтерполировать.

Итак, кое-что для себя я уяснил. Во-первых, он помнит таблицу логарифмов. Во-вторых, время, которое потребовалось бы мне на одну только интерполяцию, было заметно больше времени, необходимого для того, чтобы добраться до стола и нажать клавиши калькулятора. Все это производило впечатление.

После этого я попытался продолжать подобные штуки сам. Я запомнил несколько значений логарифма и стал брать на заметку разные случаи. Если, например, кто-то спрашивает: «Сколько будет 28 в квадрате?» — я соображаю, что квадратный корень из 2 равен 1,4, а 28 равно произведению 20 на 1,4, так что квадрат 28 должен лежать в окрестности произведения 200 на 4, т. е. 800.

Если же кто-нибудь приходит и просит разделить 1 на 1,73, можно сразу назвать ему

0,577, потому что 1,73 — это почти точно квадратный корень из 3, так что $1/1,73$ — треть квадратного корня из 3. А если это $1/1,75$, то ответ есть просто $4/7$, или 0,571428...

Я получил массу удовольствия, соревнуясь с Гансом в быстроте арифметических расчетов с использованием разных трюков. В очень редких случаях я находил ход, которого он не заметил. И тогда Ганс смеялся своим искренним смехом. Почти всегда ему удавалось получить ответ с точностью до процента. Это было ему очень легко — любое число было близко к тому, для которого он знал какой-нибудь фокус.

В мой первый приезд в Бразилию я как-то ел не в положенное время (почему-то со мной это постоянно случается) и был в зале единственным клиентом, а неподалеку от меня стояли четыре официанта.

В зал вошел японец. Я видел его и раньше: он слылся по округе, продавая счета с костяшками. Сейчас он затеял разговор с официантами, берясь на пари складывать числа быстрее любого из них.

Официанты, которым не хотелось ударить лицом в грязь, предложили ему померяться силами со мной.

Японец подошел ко мне. Я запротестовал:

— Ведь я не знаю португальского языка.

Официанты рассмеялись: — Числа — это так просто.

Они принесли мне карандаш и бумагу.

Японец попросил официанта назвать несколько задаваемых. Он сразу же заткнул меня за пояс, потому что пока я записывал числа, он уже складывал их.

Я предложил официанту написать два одинаковых списка чисел и передать их нам одновременно. Это ничего не изменило. Японец и на этот раз заметно опередил меня.

Однако успех раззадорил его — ему хотелось еще более убедительной победы.

— Multiplicação! — воскликнул он.

Кто-то написал нам задачу, и он снова победил меня, хотя на этот раз уже с небольшим перевесом: в умножении я достаточно силен.

И тут японец сделал ошибку: он предложил мне перейти к делению. Он не знал, что с усложнением задачи мои шансы повышаются.

Нам дали длинную задачу на деление. Результат был ничейный.

Это ужасно разозлило японца: он, по-видимому, набил себе руку в вычислениях на счетах, а тут какой-то случайный посетитель ресторана почти выигрывает у него.

— Raio cubicos! — кричит он мстительно.

Кубические корни! Он хочет на счетах извлекать кубические корни! Сложно найти более трудную фундаментальную арифметическую задачу. В его мастерстве счета на костяшках это, должно быть, вершина.

На листке он пишет число — произвольное число, которое я до сих пор помню. Это 1729,03. Японец начинает работать с ним, ворча и бормоча: «Быр-быр-быр-быр». Он работает как дьявол, он покрывается потом, извлекая этот кубический корень.

А я тем временем просто сижу сложа руки.

Один из официантов спрашивает меня:

— Что же вы не считаете?

Я тычу себя в лоб и говорю:

— Я думаю!

Потом на листке пишу 12, а немного спустя добавляю — 12,002.

Человек со счетами вытирает пот со лба.

— Двенадцать! — восклицает он.

— Ну, нет, — говорю я, — больше цифр, больше!

Я знаю, что при извлечении кубического корня с помощью арифметики каждая новая цифра требует гораздо больше труда, чем предыдущая. Это тяжелый труд.

Он снова, мыча, погружается в расчеты: «М-м-м-мр». А я выписываю еще две цифры. Наконец он поднимает голову: — 12,01

² Умножение (порт.).

Официанты рады до чертиков:

— Смотри, он делает это, просто думая, а тебе нужны счеты. И он написал больше цифр!

Униженный японец в полном изнеможении уходит. Официанты поздравляют друг друга.

Как же случайный посетитель «обогнал» счеты? Число было 1729,03. Кстати, я помнил, что в кубическом футе 1728 кубических дюймов, так что ответ должен быть чуть больше двенадцати³. Одно число превышает другое на 1,03, а относительная разница между ними составляет примерно одну двухтысячную. Из математического анализа я знал, что для малых приращений кубический корень равен трети приращения числа.

³ В футе 12 дюймов. (Прим. ред.)

Поэтому все, что требовалось от меня, это найти $1/1728$ и умножить ее на 4 (разделить на 3 и умножить на 12). И всю кучу цифр я получил этим способом.

Несколько недель спустя я встретил этого японца в баре отеля, где жил. Он узнал меня и подошел.

— Скажите,— спросил он,— как вам удалось так быстро решить задачу на извлечение кубического корня?

Я стал объяснять ему, что это был приближенный метод, и должен был упомянуть понятие относительной погрешности.

— Предположим,— сказал я,— что вы дали мне число 28. Кубический корень из 27 равен 3...

Он поднял свои счеты: щелк-щелк-щелк.

— О, да,— сказал он. И я понял: он не знал чисел. Со счетами вам не нуж-

но помнить арифметических правил. Все, что вам нужно знать,— это как щелкать костяшками вправо и влево. Вам не нужно помнить, что $9+7=16$; вам достаточно лишь знать, что при прибавлении девяти нужно прибавить одну костяшку на десятках и откинуть одну костяшку на единицах. Поэтому я проигрывал на простых действиях, но выигрывал там, где нужно было иметь представление о числе.

Кроме того, вся идея приближенного метода была выше его понимания, хотя никаким методом кубический корень нельзя вычислить точно. Поэтому я так и не смог объяснить ему, как я извлекал кубический корень и почему мне повезло, что он выбрал число 1729,03.

Перевод с английского
Ю. Ф. Орехова.

В номере использованы фотографии АБДУЛЛАЕВА К. А., БИРУЛЯ Т. А., ГИППЕНРЕЙТЕРА В. Е., ГОЛУБЕВА А. С., ЕРМОЛИНА Е. Д., ЖИДКОВА А. Я., ЗОРИНА А. В., ЛЮБИНСКОГО Е. Г., ОМЕЛЬЯНЕНКО А. А., ЯКОВЛЕВА Ю. М.

Художник П. Г. АБЕЛИН
Художественные редакторы:
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Корректоры:
Э. А. ГЕОРГАДЗЕ, Т. Д. МИРЛИС

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука».

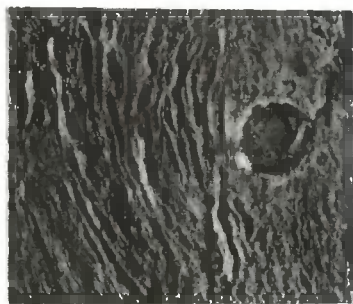
Сдано в набор 11.03.86.
Подписано к печати 16.04.86.
Т — 10901.
Формат 70×100 1/16
Офсет
Усл.-печ. л. 10,32
Усл. кр.-отт. 1365,3 тыс.
Уч.-изд. л. 15,0.
Бум. л. 4.
Тираж 51000 экз. Зак. 748



— 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.

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

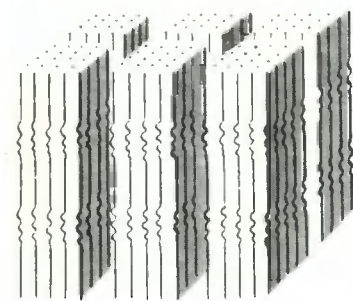
Ордена Трудового Красного Знамени Чеховский полиграфический комбинат ВО «Союзполиграфпром» Государственного комитета СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.
г. Чехов Московской области.



В следующем номере

Геологическое строение Венеры «прочитывается» на радиолокационных изображениях, полученных советскими космическими аппаратами «Венера-15 и -16».

Барсуков В. Л., Базилевский А. Т. Геология Венеры.



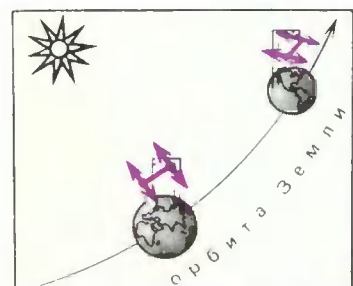
Биотехнологический метод переработки растительного сырья с помощью ферментов пока дорог. Но его преимущества перед давно используемым в производстве кислотным методом неоспоримы.

Синицын А. П. Ферменты атакуют целлюлозу.



Как быстрее и надежнее распознать тот или иной объект? Глаз, по-видимому, «выбирает» в нем отдельные информативные фрагменты, формируя на сетчатке расфокусированное изображение объекта. Техническое «зрение», основанное на этом принципе, имеет много преимуществ.

Гинзбург В. М. Как научить машину «видеть», или Антропоморфная обработка изображений.



Сегодня на этот вопрос можно ответить отрицательно. И тем не менее вариации гравитационной константы теоретически не исключены. Нужны более точные эксперименты, которые приблизят нас к пониманию самого слабого физического взаимодействия — гравитационного.

Милюков В. К. Изменяется ли гравитационная постоянная?



Чтобы приспособиться к жизни в городах и других крупных населенных пунктах, птицы вынуждены менять многие природные повадки, в первую очередь, связанные с добычей корма.

Резанов А. Г. Кормятся птицы.

Цена 80 к.
Индекс 70707

