

ПРИРОДА

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ПОПУЛЯРНЫЙ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ АКАДЕМИИ НАУК СССР



**УСКОРИТЕЛИ –
КЛЮЧ К ПОЗНАНИЮ
МАТЕРИИ**

ЯНВАРЬ

1

1988



январь
1988

ПРИРОДА

Основан
в 1912 году

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ПОПУЛЯРНЫЙ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ АКАДЕМИИ НАУК СССР

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор академик Н. Г. БАСОВ	Доктор философских наук Н. В. МАРКОВ
Кандидат физико-математических наук А. И. АНТИПОВ	Ответственный секретарь В. М. ПОЛЫНИН
Доктор физико-математических наук Е. В. АРТЮШКОВ	Доктор исторических наук П. И. ПУЧКОВ
Член-корреспондент АН СССР Р. Г. БУТЕНКО	Заместитель главного редактора академик Ю. М. ПУЩАРОВСКИЙ
Доктор географических наук А. А. ВЕЛИЧКО	Доктор философских наук Ю. В. САЧКОВ
Академик В. А. ГОВЫРИН	Заместитель главного редактора доктор биологических наук А. К. СКВОРЦОВ
Член-корреспондент АН СССР И. Р. ГРИГУЛЕВИЧ	Академик АН УССР А. А. СОЗИНОВ
Заместитель главного редактора Ю. Н. ЕЛДЫШЕВ	Академик В. Е. СОКОЛОВ
Член-корреспондент АН СССР Г. А. ЗАВАРЗИН	Доктор геолого-минералогических наук М. А. ГАВОРСКАЯ
Член-корреспондент АН СССР В. Т. ИВАНОВ	Заместитель главного редактора кандидат технических наук А. С. ФЕДОРОВ
Доктор физико-математических наук Н. П. КАЛАШНИКОВ	Заместитель главного редактора член-корреспондент АН СССР Л. П. ФЕОКТИСТОВ
Доктор физико-математических наук С. П. КАПИЦА	Член-корреспондент АН СССР В. Е. ХАИН
Доктор физико-математических наук И. Ю. КОБЗАРЕВ	
Кандидат физико-математических наук А. А. КОМАР	Доктор физико-математических наук А. М. ЧЕРЕПАШУК
Академик Н. К. КОЧЕТКОВ	Доктор физико-математических наук В. А. ЧУЯНОВ
Доктор геолого-минералогических наук И. Н. КРЫЛОВ	

НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Участок туннеля будущего ускорительно-накопительного комплекса (УНК) Института физики высоких энергий (Протвино). Модель сверхпроводящего магнита УНК. См. в номере: Важный шаг в развитии физики высоких энергий. Интервью с А. А. Логуновым.

Фото В. В. Фридрикса.

НА ВТОРОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Фронтиспис Стефано делла Белла к книге Г. Галилея «Диалог о двух главнейших системах мира птолемеевой и коперниковой» (1632). Слева направо: Аристотель, Птолемей и Коперник. См. в номере: Кравец А. С. Стиль научного мышления.

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Осень в Сихотэ-Алинском биосферном заповеднике. См. в номере: Соколов В. Е., Пузаченко Ю. Г., Гунин П. Д., Зыков К. Д. Биосферные заповедники: цели и проблемы.

Фото В. Ф. Семенова



— 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.



© Москва «Наука»
Природа 1988

В номере:

4 ВАЖНЫЙ ШАГ В РАЗВИТИИ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ (Интервью с А. А. Логуновым)

В июле прошлого года Политбюро ЦК КПСС рассмотрело вопрос об укреплении материально-технической базы по физике высоких энергий и программе ее развития до 2000 г. В беседе с нашим корреспондентом академик А. А. Логунов, возглавляющий эту программу, комментирует принятые решения.

16 Скворцов А. К. ЛОГИКА И АНАЛОГИИ В ТЕОРИИ ЭВОЛЮЦИИ

Несмотря на большие успехи современной биологии, многие ее важные теоретические вопросы до сих пор не решены. Как показывает история эволюционной теории, заметная роль в решении таких спорных проблем принадлежит логической оценке известных фактов и событий.

26 Кравец А. С. СТИЛЬ НАУЧНОГО МЫШЛЕНИЯ

В отличие от конкретных научных результатов, методов и теорий стиль научного мышления существует в общественном мнении ученых в неявной форме. Будучи системой общезначимых предпочтений относительно допустимых в науке методов, теорий, доказательств, он выполняет важные регулятивные функции в научном познании.

34 Соколов В. Е., Пузаченко Ю. Г., Гунин П. Д., Зыков К. Д. БИОСФЕРНЫЕ ЗАПОВЕДНИКИ: ЦЕЛИ И ПРОБЛЕМЫ

Человек сознательно или неосознанно изменяет облик Земли, своей деятельностью нередко наносит непоправимый ущерб природе и окружающей среде. Чтобы сохранить условия для выживания и развития человечества, сберечь в неприкосновенности особо ценные естественные территории и одновременно найти способы щадящего хозяйствования, с 1975 г. по всему миру создаются биосферные заповедники.

47 Гительзон И. И. О СВЕЧЕНИИ МОРСКИХ ГУБОК

48 Левинтов А. Е. КАКОЙ БЫТЬ ДЕЛЬТЕ ДУНАЯ?

В этом районе «столкнулись» интересы транспортников, мелиораторов, экологов, рыбаков и туристов. Удовлетворить их может только рациональная перспектива развития района.

54 Прескурякова Г. М., Смирнова Т. М. ПУТЕШЕСТВИЕ В ТРГОЯ

Богатство и специфичность флоры Тргоя требуют строгой охраны этого ценнейшего природного комплекса.

62 Мильман Б. Л. ОТ ИЗОТОПОВ ДО БЕЛКОВ: РАЗВИТИЕ И РЕКОРДЫ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

Начав с определения масс стабильных изотопов, масс-спектрометрия совершила «прыжок» в область больших биомолекул и даже белков.

71 Карцев В. М. ДАЛЬНОСТЬ ПОЛЕТА ОСЫ

72 Неручев С. Г. ГЛОБАЛЬНЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ И БИОСФЕРНЫЕ КРИЗИСЫ

Уже не один год в научной и популярной печати идет дискуссия о причинах биосферных кризисов в геологическом прошлом. Вполне вероятно, что резкие изменения в органическом мире были обусловлены интенсивным поступлением в биосферу радиоактивных элементов и тяжелых мутагенных металлов, выносимых из глубин в эпохи усиления геодинамической активности.

82 Новиков И. Д. КАК ВЗОРВАЛАСЬ ВСЕЛЕННАЯ

Все свойства Вселенной, наблюдаемые сегодня, связаны с процессами, которые происходили в первые мгновения ее расширения и характеризовались огромными плотностями и энергиями. Согласно одному из предложенных сценариев, природа «пыталась создавать» множество вселенных с самыми разными свойствами. В такой модели взрыв Вселенной происходит вечно; вечно рождаются новые миры.

92 ИЗОТОПНАЯ ГЕОХИМИЯ СЕГОДНЯ (Интервью с К. Аллегром)
Новые сведения о сложной динамической системе мантия — кора — атмосфера Земли получены благодаря изотопно-геохимическим исследованиям, начало которым положил В. И. Вернадский.

98 ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 1987 ГОДА
Максимов Е. Г. ПО ФИЗИКЕ — А. МЮЛЛЕР И Г. БЕДНОРЦ (98)
Лукьяненко Н. Г. ПО ХИМИИ — Ч. ПЕДЕРСЕН, Д. КРАМ, Ж.-М. ЛЕН (100)
Поляновский О. Л. ПО МЕДИЦИНЕ — С. ТОНЕГАВА (102)

104 Шуколюков Ю. А. «ЧЕМПИОНЫ» ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ДРЕВНОСТИ

НОВОСТИ НАУКИ

105 Экспедиция на станции «Мир»: июль — август 1987 г. (105) Биоспутник «Космос-1887» (105) Барнионный остров во Вселенной (106) Следы космической катастрофы (107) Марсианские породы на Фобосе? (107) Ускорение частиц с помощью лазера (108) Подтверждена термодинамическая теория плавления? (108) Изотопные аномалии, полученные в лаборатории (109) Алюминий — вместо бензина? (109) Вакцина против шистосомоза (110) Как нарушается нормальное соотношение полов у оседающих? (110) Поиски геропротекторов (111)

О механизме происхождения диабета (111) Ин-терлейкин-2 стимулирует моноциты (111) Курение и рак легких (112) Антитела обнаруживают опухоль (112) Число видов живых организмов на Земле (112) Рассудочная деятельность дельфинов (113) Разнообразие конечностей у красноспинной саламандры (114) Остров Элсмир взят под охрану (114) Утечка нефти в океан уменьшилась (114) Ворона в городе (115) Золото и ртуть Амазонии (115) 113-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн» (116) Действующий вулкан далеко за Полярным кругом (117) Железомарганцевые конкреции в Тихом океане (117) Климат Земли в палеозое и мезозое (119) Новые гоминины (119)

РЕЦЕНЗИИ

120 Кобзарев И. Ю. МИСТЕРИИ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ [на кн.: The ghost in the atom. A discussion of the mysteries of quantum physics. (Привидение внутри атома. Дискуссия о тайнах квантовой физики)]

НОВЫЕ КНИГИ

125 Галактионов В. Г. Графические модели в иммунологии (125) Археология Кубы (125) Шмундцер Э., Шютц В. Галилео Галилей (125)

ВСТРЕЧИ С ЗАБЫТЫМ

126 Гаврюшин Н. К. ДРЕВНЕРУССКИЙ ТРАКТАТ О «ЧЕЛОВЕЧЕСКОМ ЕСТЕСТВЕ»

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

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

Художник
С. И. МИРОНЕНКО

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

Заведующая редакцией
О. В. ВОЛОШИНА

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

В номере использованы
фотографии

В. М. КАРЦЕВА,
А. М. ПАНИЧЕВА,
Г. М. ПРОСКУРЯКОВОЙ,
В. Ф. СЕМЕНОВА,
Ю. А. ТУМАНОВА,
Ю. Б. ШИБНЕВА

В художественном оформлении
номера принимали участие:

Н. Н. АБРАМОВ,
Т. В. БАРТЕНЕВА,
Г. Д. КИЗЕВАЛЬТЕР,
В. С. КРЫЛОВА,
Е. К. ТЕНЧУРИНА

Ордена Трудового Красного
Знамени издательство «Наука»

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

Сдано в набор 10.11.87.
Подписано в печать 7.12.87.

Т-18667

Формат 70×100¹/₁₆

Офсетная печать

Усл. печ. л. 10,32

Усл. кр.-отт.

Уч.-изд. л. 15,2

Бум. л. 4

Тираж 54.000

Зак. 3198

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

ВАЖНЫЙ ШАГ В РАЗВИТИИ



Анатолий Алексеевич Логунов, академик, вице-президент АН СССР, ректор Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, научный руководитель Института физики высоких энергий (Протвино). Научные интересы связаны с физикой элементарных частиц и квантовой теорией поля. Лауреат Ленинской (1970) и Государственных премий СССР (1973, 1984). Герой Социалистического Труда. В «Природе» опубликовал статьи: Единство фундаментальных взаимодействий и поиски глюболов—частиц из ядерного «клея» (совместно с С. С. Герштейном) (1985, № 1); Релятивистская теория гравитации (1987, № 1).

В июле прошлого года Политбюро ЦК КПСС рассмотрело вопрос об укреплении материально-технической базы исследований по физике высоких энергий и программе ее развития до 2000 года. В ведущих научных центрах страны намечено сооружение уникальных ускорительных комплексов и ряда других экспериментальных установок, реконструкция, расширение и строительство объектов опытно-экспериментальной и производственной базы. Государственному комитету СССР по науке и технике, Академии наук СССР совместно с заинтересованными министерствами и ведомствами поручено принять меры по широкому развитию фундаментальных и прикладных работ в этом направлении. Уже из лаконичного текста этого сообщения видно, что осуществление программы по физике высоких энергий рассматривается как стратегически важная задача. Корреспондент «Природы» И. Н. Арутюнян обратилась к академику А. А. Логунову, возглавляющему эту программу, с просьбой прокомментировать принятое решение.



Большой сцинтилляционный детектор Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ АН СССР.

ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Интервью с А.А.Логуновым

А НАТОЛИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ, прежде всего позвольте попросить Вас расшифровать ту часть решения, где говорится о создании новых уникальных установок для экспериментальных исследований по физике высоких энергий.

Программа развития физики высоких энергий, утвержденная решением ЦК КПСС и Совета Министров СССР, носит общенациональный характер, в ее осуществление вовлекаются различные министерства и ведомства. Для руководства программой при ГКНТ создан Межведомственный совет, решения которого в пределах его компетенции обязательны для министерств и ведомств. Программа предусматривает сооружение ряда уникальных установок.

Прежде всего, под Серпуховом в поселке Протвино строится ускорительно-накопительный комплекс (УНК). Уже идет про-

кладка туннеля для этого ускорителя, длина которого составит около 21 км. На первом этапе развития УНК физики получат возможность ускорять протоны до энергий 400—600 ГэВ. Вторая очередь установки предусматривает ускорение протонов до энергии 3 ТэВ¹. При этом открывается возможность создания различных пучков частиц, в том числе нейтрино, и проведения широких исследований по спектроскопии частиц. Но в экспериментах с неподвижной мишенью огромная доля кинетической энергии идет на движение центра масс системы «налетающая частица — ядро мишени», иначе говоря, расходуется «вхолостую».

От этого недостатка свободны коллайдеры — ускорители на встречных пучках, где вся энергия пучка частиц при столкновении расходуется на рождение новых частиц. Поэтому в том же кольце УНК будет создан еще один ускорительный канал, где протоны будут разгоняться также до энергии в 3 ТэВ, но в противоположном направлении. В конечном итоге мы сможем изучать взаимодействие встречных пучков протонов при энергии столкновения в 6 ТэВ. В таких столкновениях могут рождаться частицы с огромной массой, появление которых на ускорителях с неподвижной мишенью попросту невозможно из-за закона сохранения энергии.

Там же, в Протвине, намечено строительство электрон-позитронного коллайдера. Электроны и позитроны будут разгоняться до нужных энергий не в кольцевых, а в линейных ускорителях. Это позволит избежать потерь энергии на излучение, неминуемых при движении заряженных частиц по кругу. Для таких легких частиц, как электроны и позитроны, эти потери наиболее заметны. Энергия частиц, по проекту, составит первоначально 500 ГэВ, а в последующем будет доведена до 1 ТэВ. Длина каж-

¹ Стандартной единицей измерения энергии в физике элементарных частиц является электронвольт — энергия, приобретаемая частицей с зарядом электрона при прохождении разности потенциалов в один вольт. Используют мегаэлектронвольты (1 МэВ = 10^6 эВ), гигаэлектронвольты (1 ГэВ = 10^9 эВ) и тераэлектронвольты (1 ТэВ = 10^{12} эВ).



дого из линейных ускорителей на первом этапе будет примерно равна 5 км. Для повышения энергии ускоряемых частиц надо просто достроить, удлинить ускорители. Не следует, однако, думать, что здесь можно неограниченно повышать энергию столкновения. Увеличение энергии ведет к сильному уменьшению вероятности (сечения)

а благодаря сверхпроводящим магнитам, создающим более сильные магнитные поля, чем обычные.

Сроки нам поставлены жесткие. «Теплое» кольцо первой очереди УНК должно быть сдано в «наладку» физикам в 1990 г. В 1993 г. мы должны иметь «холодное» сверхпроводящее кольцо второй очереди,



рождения частиц, а следовательно, надо увеличивать такую характеристику коллайдера, как светимость пучков². А возможности здесь тоже ограниченные.

Что касается УНК, то повышение энергии пучков при переходе от первой очереди ко второй будет осуществлено не за счет увеличения орбиты ускоряемых частиц,

Первые километры туннеля ускорительно-накопительного комплекса (УНК).

а в 1995 г. приступить к осуществлению столкновений встречных протонных пучков. Через год после этого должна быть готова первая очередь электрон-позитронного коллайдера, а сдача в наладку второй очереди намечена на 1998 г. Таким образом, основные работы должны быть выполнены уже в следующей пятилетке. В будущем предполагается осуществить столкновения электронов с энергией 1—2 ТэВ и протонов с энергией 3 ТэВ, что еще больше расширит наши исследовательские возможности.

² Светимость характеризует эффективность ускорителей на встречных пучках с точки зрения числа происходящих событий. Это характеристика собственно ускорителя и не зависит от изучаемых с его помощью объектов. Подробнее см.: Арутюнян И. Н. Ускорители нового поколения и их задачи // Природа. 1981. № 12. С. 37—48.

Какие научные центры вовлечены в эту программу?

Головной организацией будет Институт физики высоких энергий (ИФВЭ) в Протвине, которому поручена координация всех работ и проект УНК. Электрон-позитронный коллайдер будет создаваться Институтом ядерной физики (ИЯФ) СО АН СССР. В Протвине будет образован филиал этого института. Здесь и в Новосибирске будут отрабатываться все решения, вся программа создания линейных пучков и оборудования для предстоящих экспериментов.

В осуществлении намеченной программы активное участие примут специалисты Объединенного института ядерных исследований в Дубне. В Протвине станут проводить исследования ученые Ленинградского института ядерной физики им. Б. П. Константинова АН СССР, Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР, Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, Института физики высоких энергий АН КазССР, Ереванского физического института, Харьковского физико-технического института, Института физики высоких энергий Тбилисского государственного университета, Института экспериментальной и теоретической физики. Одним словом, у нас будут работать специалисты практически всех центров, занимающихся исследованиями в этой области науки.

Особо надо отметить Институт ядерных исследований (ИЯИ) АН СССР с его мезонной фабрикой в Троицке под Москвой и Баксанской нейтринной обсерваторией на Кавказе. Исследования на установках ИЯИ — существенная часть намеченной научной программы.

Мы ожидаем, что все заинтересованные организации внесут посильный вклад в претворение в жизнь принятых решений. Правда, в некоторых институтах все еще культивируются иждивенческие настроения. Рассуждения предельно просты: когда установки построят, мы будем на них работать, а сооружение — не наше дело. Такое мнение встречается часто. Физикам надо не только освободиться от подобных заблуждений, но и четко осознать: от нашей целеустремленности сегодня во многом зависит выполнение программы, полноценное завтра нашей науки. Ничего само собой не произойдет.

В связи с этим возникает вопрос: ускоритель на встречных линейных электрон-позитронных пучках (ВЛЭПП) фигурировал в литературе как установка, намеченная к сооружению в Новосибирске, где и был выдвинут этот проект. Как произошло, что линейный коллайдер перемещается в Протвину?

Это решение возникло в ходе тщательного обсуждения самого проекта и всего существующего положения вещей. Для создания установки в Новосибирске необходимо было развернуть огромный фронт строительных работ, привлечь тысячи строителей на новую площадку. Хорошо все взвесив, мы решили повысить энергию ВЛЭПП по крайней мере в 2 раза и соорудить установку в Протвине, где уже сосредоточены большие силы, необходимые для прокладки туннеля и других строительных работ. Это обеспечит реализацию проекта в более короткие сроки.

Зрелость мышления наших ученых преодолела барьеры узкоместнических интересов. Иначе и быть не могло: кто, как не ученые, заинтересованы в скорейшей реализации своих идей? Если ускорители будут построены быстро, в распоряжении физиков окажется уникальная в мировом масштабе база для исследований в области физики элементарных частиц.

Каковы же, хотя бы в общих чертах, конкретные цели намеченной научной программы?

Основная наша задача — изучение структуры материи на очень малых расстояниях. Многое в устройстве нашего мира мы уже сумели понять. В частности, ни у кого не вызывает сомнений, что протоны, нейтроны и прочие сильно взаимодействующие частицы состоят из кварков. Все современные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что кварки ведут себя как фундаментальные точечные объекты. Таковыми же мы видим лептоны — другой большой класс фундаментальных частиц, не подверженных сильному ядерному взаимодействию. К ним относятся электрон, нейтрино и другие подобные им частицы. Не исключено, что частицы, которые мы пока считаем фундаментальными, на самом деле тоже имеют сложную внутреннюю структуру, к которой мы еще не нашли подходов.

В последние 20 лет были выдвинуты новые физические идеи и теории. Квантовая хромодинамика, описывающая взаимодействие кварков, объясняет много явлений, наблюдавшихся экспериментально. Объединенная теория электрослабых взаимодействий тоже неплохо согласуется с данными опытов. В частности, она предсказала существование тяжелых частиц, переносящих слабые взаимодействия. Несколько лет назад эти частицы были открыты физиками Европейской организации ядерных исследо-

ваний (ЦЕРН) в Женеве. Успехи несомненны, но это первые шаги, и еще остается множество нерешенных проблем. Скажем, неясно, осуществляется ли «плменение» кварков внутри сильно взаимодействующих частиц. На малых расстояниях кварки почти свободны, но при увеличении расстояний силы между ними возрастают. Квантовая хромодинамика хорошо описывает явления на малых расстояниях, но в области относительно больших расстояний теоретикам есть еще над чем поработать. Теория электрослабых взаимодействий еще очень несовершенна: в ней много произвольных параметров, вводимых «руками». Теоретики придумали особые частицы — бозоны Хиггса, взаимодействие с которыми порождает массу у частиц, переносящих слабое взаимодействие. Однако хиггсовский «сектор» теории содержит большой произвол. Теория почти ничего не говорит о свойствах бозонов Хиггса. Есть модели, в которых бозоны Хиггса являются заряженными и даже составными частицами.

Нет ответа и на более глубокие вопросы. Например, теоретики не в состоянии сказать, почему частицы обладают той или иной массой, зарядом. Мы знаем, каковы свойства частиц, но почему они таковы, сможем понять лишь с точки зрения более глубоких теорий. А для них нужен новый экспериментальный материал.

Стоит вопрос о теории, дающей единое описание электрослабых и сильных взаимодействий. Здесь также имеется множество допустимых вариантов, которые приводят к совершенно неожиданным следствиям. В одних схемах, например, протон должен быть нестабильным. Согласно другим, он не распадается. Только новые экспериментальные данные дадут возможность сделать выбор между множеством теоретических моделей.

В последние годы стали популярными теории с дополнительной симметрией между частицами с целым и полуцелым спином — так называемые теории с суперсимметрией. Они позволяют единым образом описать все известные фундаментальные взаимодействия частиц, включая гравитацию. В таких теориях предсказывается существование множества новых частиц — суперсимметричных «двойников» обычных частиц. Массы новых частиц могут лежать в области энергий порядка 1 ТэВ.

Одним словом, теоретических построений много, но все обилие имеющегося экспериментального материала оказывается недостаточным, чтобы предпочесть одни варианты теории другим. Может случиться и так, что будут необходимы совершенно новые теоретические идеи. Создание новых

ускорителей — ключ к изучению фундаментальных взаимодействий природы, к построению единой картины мира.

В физике наступил исключительный этап, когда мы действительно вплотную подошли к изучению процессов во Вселенной во всем их единстве. Большое смыкается с малым. Астрофизика и космология оказались тесно связанными с физикой элементарных частиц. Углубление наших знаний о микромире продвигает нас в понимании процессов, происходивших на ранних стадиях развития наблюдаемой части Вселенной. Создаются специальные детекторы, нейтринные обсерватории, дающие нам информацию о невообразимо далеких областях нашего мира. Развитие экспериментальной базы нейтринной обсерватории ИЯИ на Баксане дает возможность в дополнение к экспериментам на сверхмощных ускорителях регистрировать частицы, приходящие к нам из далекого космоса, и тем самым изучать процессы, происходящие во Вселенной.

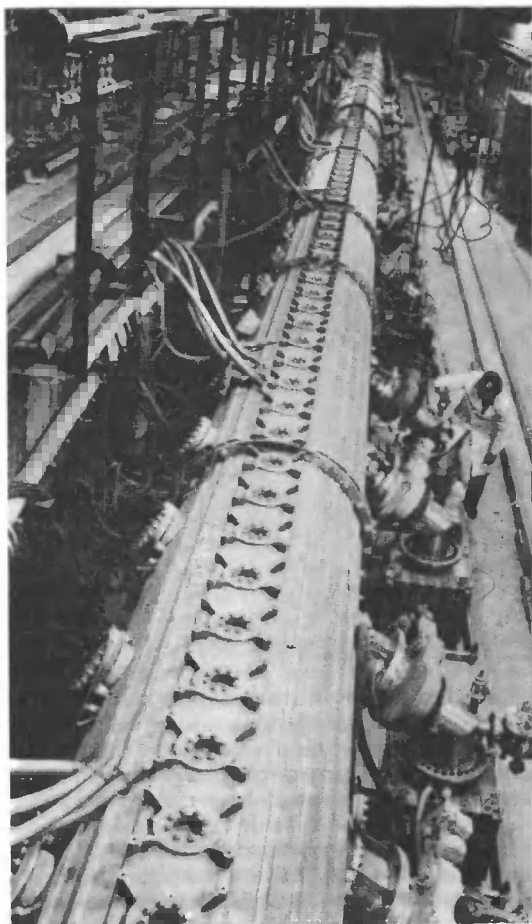
С другой стороны, многие интересные процессы с частицами происходят очень редко. Для изучения таких процессов нужны установки пусть с относительно малой энергией, но зато с большой интенсивностью ускоряемого пучка, своеобразные «фабрики» частиц. Такая мезонная фабрика строится в ИЯИ в Троицке. Она представляет собой линейный ускоритель протонов на энергию 600 МэВ с интенсивностью пучка в 100 раз большей, чем в обычных ускорителях. Это позволит наблюдать редкие явления, недоступные изучению на других установках. Планируется также создание К-мезонной фабрики.

Давайте оглянемся в прошлое и проанализируем путь, пройденный ускорительной техникой. Что имеют наши физики сегодня, какова ситуация в мире в этой области исследований?

В свое время мы занимали неплохие позиции. Скажем, в 1967 г. был запущен ускоритель в Протвине, который тогда был крупнейшим в мире. Он давал протоны с энергией 76 ГэВ, и в течение ряда лет на нем велись исследования, в которых участвовали физики ЦЕРНа, Франции, США. К сожалению, этот ускоритель до сих пор остается нашей самой крупной установкой, а за рубежом имеются более мощные ускорители.

В первой половине 70-х годов в США и ЦЕРНе были пущены протонные ускорители на энергию порядка 500 ГэВ. В начале 80-х годов в ЦЕРНе получили встречные пучки протонов и антипротонов с энергией 270 ГэВ,

так что полная энергия столкновения составила 540 ГэВ. Именно здесь были открыты W- и Z- бозоны с массой порядка 100 ГэВ, переносящие слабые взаимодействия. Недавно в США был запущен ускоритель «Теватрон», на котором физики добрались уже до энергии 1 ТэВ. Планируется осуществление встречных протон-антипротонных пучков с



Участок линейного ускорителя Московской мезонной фабрики (г. Троицк).

энергией 1 ТэВ в каждом. И, наконец, в США готовится решение о строительстве протон-протонного суперколлайдера с энергией в каждом пучке 20 ТэВ!

Параллельно за рубежом развивались электрон-позитронные коллайдеры. В США и ФРГ были построены хорошие установки с энергией в пучке чуть меньше 20 ГэВ. Они вступили в строй в конце 70-х годов и дали много интересной информации. Не-

давно запущен электрон-позитронный коллайдер в Станфорде (США) с энергией в пучке 50 ГэВ. В ЦЕРНе строится коллайдер LEP, первая очередь которого предусматривает столкновение электрон-позитронных пучков с энергией около 50 ГэВ. Наш же крупнейший электрон-позитронный коллайдер в Новосибирске был рассчитан на энергию всего 7 ГэВ в пучке.

По существу, за последние двадцать лет за рубежом создано два новых поколения ускорителей. Мы же за это время не построили ни одной установки на сверхвысокие энергии. И дело, как легко догадаться, вовсе не в лености физиков. Приведу характерный пример — он, к сожалению, не единственный. Крупнейшие по тем временам ускорители в Дубне и Протвине сооружались в течение 4—6 лет. Мезонная фабрика в Троицке строится вот уже 15 лет. Зачастую же наши идеи просто не реализовывались, промышленность даже не бралась за их превращение в жизнь.

Сейчас мы делаем очень важный шаг, увеличивая освоенные нами энергии почти в 40 раз. Чтобы задача была решена в намеченные сроки, требуется мобилизация сил не только НИИ, но, главное, промышленности. Руководящие инстанции страны сейчас изучают весь круг проблем, и я надеюсь, что наши предложения будут поддержаны.

Конечно, за рубежом не стоят на месте. Я уже говорил о проекте американского суперколлайдера на 20 ТэВ. Тем не менее сооружение ВЛЭПП и УНК в планируемые сроки сделают наши установки вполне конкурентоспособными. Необходимо также отметить, что новые идеи не всегда нуждаются в проверке на сверхмощных ускорителях. Наш ускоритель в Протвине до сих пор верой и правдой служит физикам. Совсем недавно на нем получены интересные результаты, в частности открыты новые частицы, которые мы рассматриваем в качестве кандидатов в глоболы — экзотические объекты, содержащие глюоны³.

Реализация нашей программы по созданию УНК и ВЛЭПП в установленные сроки позволит выполнить очень интересные исследования и сделать еще один шаг в познании строения материи и фундаментальных сил природы.

Предусмотрена ли планами возможность международной кооперации?

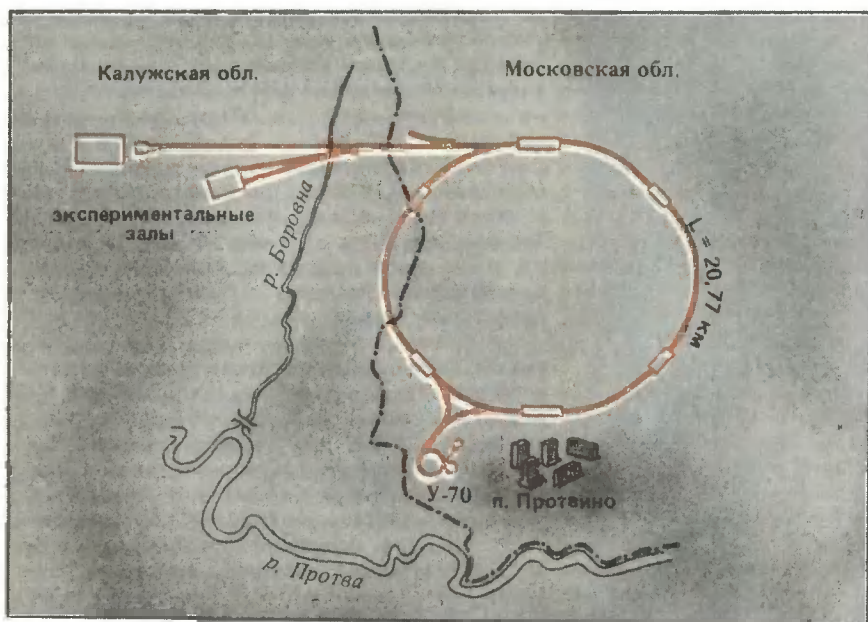
Разумеется. Мы обсуждаем различные

³ См.: Герштейн С. С., Логунов А. А. Единство фундаментальных сил природы и поиски глоболов — частиц из ядерного «клея» // Природа. 1985. № 1. С. 6—19.

проекты участия зарубежных физиков в нашей программе. Скажем, наш ускоритель и совместные детекторы, обработка результатов и, естественно, совместная публикация результатов. В физике высоких энергий так было всегда: и прежде, когда зарубежные физики жили в Протвине, и сейчас, когда наши специалисты работают в США и Запад-

ся с общемировым. Другое дело, что по ряду важнейших направлений мы должны выходить на мировой уровень, создавать образцы, пригодные для продажи за рубеж. Тогда у нас будет возможность приобрести что-то и у них.

Такой путь разрушит все эмбарго, в том числе и на вычислительную технику, по-



План УНК.

ной Европе. Подобная кооперация — нормальное и обычное явление. Она — важный элемент нашей программы, обеспечивающий ускоренное развитие данного направления науки.

Более узкий вопрос в связи с новой техникой. В физике высоких энергий давно применяются компьютеры, которые приобретают тем большее значение, чем мощнее установка. Не будет ли у нас проблем с компьютерами?

Думаю, что мы сделаем ставку на отечественную вычислительную технику. Сейчас ее развитию уделяется большое внимание. В то же время не надо исключать возможности приобретения какого-то оборудования и за рубежом. В мире все взаимосвязано. Если что-то покупают у нас, то и мы должны покупать. Нельзя же в одной стране производить все, что выпускается во всем остальном мире. Не надо каждый раз «изобретать велосипед». Потенциал одной, пусть даже огромной, страны не может сравнить-

сколькx эмбарго — это следствие ограниченности мышления. В принципе, мы сумеем все основное создать сами, если промышленность как можно скорее повернется к науке, потянется к нашим разработкам. Наверняка среди них найдутся и такие, которых пока нет за рубежом. Эти разработки надо быстрее осваивать и выходить с ними на мировой рынок. Тогда продажа и покупка станут естественным процессом. Нельзя ставить перед собой задачу создавать все своими силами, никто в мире так не делает. Передовые позиции следует занимать только в стратегически важных направлениях. Если суперкомпьютеры считаются стратегическим товаром, то нам надо создавать их самим. Такая работа ведется, об этом сообщалось в печати.

Вы упомянули об отставании нашей страны в ускорительной технике. Очень обидно, например, что идея встречных пучков родилась у нас, но была реализована на Западе. Чем же это объяснить — ошибоч-

ными решениями и представлениями или объективными обстоятельствами!

Я бы сказал, что здесь было все. В конце 40-х годов создавалась промышленность, нацеленная специально на решение подобных задач. Она и решала их довольно успешно. Затем положение стало меняться. Промышленность стала уходить от этих заказов, очень трудоемких и невыгодных ей, ибо пресловутый вал и здесь дал о себе знать. Передовое электрофизическое машиностроение перестало развиваться. С другой стороны, начали считать, что фундаментальные исследования не очень важны. Какая, мол, разница, где открыты основные законы природы, новые явления. Были такие мысли и у отдельных руководителей, и в целых организациях. Считалось, что раз проблема не имеет непосредственного прикладного значения, то она и не существенна. О перспективе, о завтрашнем дне, о необходимости развивать и углублять фундаментальные исследования предпочитали серьезно не задумываться.

Конечно, были люди, которые все понимали правильно. Не следует забывать, что решение о сооружении УНК было принято в 1980 г. Однако оно не было подкреплено материальной базой, конкретными мерами, которые обеспечили бы высокие темпы строительства. Ведь по прежним планам протонный ускоритель на 1,5 ТэВ мы должны были бы иметь уже в следующем году. Как видите, этого не произошло.

Сейчас совершенно иной подход, понимание всех аспектов этой проблемы. Внимание партии и правительства, несомненно, даст большой простор развитию фундаментальных исследований. Однако реализация решений требует активности и целеустремленности всех участников программы.

Вы затронули очень интересный и, судя по всему, наиболее важный вопрос о роли фундаментальных наук. Нельзя ли подробнее остановиться на этом?

Видите ли, бытует мнение, что любая наука занимается фундаментальными исследованиями. Это не совсем правильно. Фундаментальные исследования потому и называются фундаментальными, что закладывают самый фундамент наших знаний о мире. На этом фундаменте, собственно, и строится все здание науки. Подводя новый фундамент, т. е. развивая и углубляя наши знания, мы не разрушаем все здание науки, а только перестраиваем и достраиваем его. Вспомним, например, как квантовая механика помогла нам не только открыть новые физические явления, но, по существу, стала осно-

вой современной научно-технической революции. Отсюда вовсе не следует, что прочие исследования менее интересны или менее важны. Просто они имеют дело с другими объектами. Там могут быть найдены новые явления, новые практические применения. Разница только в том, что эти открытия не затронут основные представления о фундаментальных законах природы. Некоторые науки по мере своего развития перестают быть фундаментальными, и нельзя сказать, что от этого они становятся хуже. Скажем, богатейшая и интереснейшая область науки — физика твердого тела — основа научно-технического прогресса. Однако исследования в ней, при всей своей важности, не приведут к пересмотру фундаментальных законов природы. А вот астрофизика, космология, физика элементарных частиц, безусловно, относятся к фундаментальным наукам, равно как и некоторые другие области естествознания.

В фундаментальных науках сосредоточивается, как правило, очень высокий научный потенциал. Почему так происходит? Человек всегда склонен браться за решение принципиальных проблем, такая уж у него любопытная натура. Я уверен, например, что статьи по гравитации в вашем журнале вызывают больший поток читательских откликов, чем статьи о более известной области знания. В фундаментальных науках велика конкуренция, она сильно проявляется уже со студенческой скамьи.

Далее, исследования на переднем крае требуют создания установок с предельными параметрами, проникновение в глубь материи — уникальных установок, а для их создания используются самые передовые идеи, современные достижения в самых различных областях. Потом все эти находки могут использоваться в технике. Скажем, даже применение вычислительной техники или роботов пошло от ядерной физики, физики высоких энергий. А сейчас все это широко используется в промышленности.

Я хотел бы только, чтобы меня поняли правильно. Высокий интеллектуальный уровень в фундаментальных науках не означает, что другими науками занимаются бездары. Важны любые настоящие исследования. В науке нет проблем первого и второго сорта. Наука всегда первого сорта, второго сорт — это уже не наука. Правда, проблемы могут быть разной степени трудности.

Можно, по-видимому, утверждать, что фундаментальные науки повышают общий культурный уровень общества, формируют наше мировоззрение. Известно высказыва-

ние, что в свое время процессы над ведьмами в Англии прекратились в связи с успехами естественных наук: «Благодарить надо не атеистов, а Бойлей и Ньютонов». С этим никто спорить не будет. А вот как быть с высокой стоимостью таких исследований! Сколько, например, стоит современный ускоритель!

Ускорители типа УНК оцениваются примерно в миллиард рублей. Строительство суперколлайдера в США обойдется, как сообщалось, в 4—5 млрд долл. Кроме того, огромных денег стоит экспериментальная база для исследований. Так, современные многоцелевые детекторы в ЦЕРНе и США обошлись в десятки миллионов долларов. Однако в том же ЦЕРНе подсчитали, что затраты на исследования уже полностью окупилась хотя бы от внедрения технических решений, найденных в процессе исследований. Я не говорю даже об открытых законах природы, стоимости которых деньгами не оценить. Берем здесь чисто экономические выгоды. Фирмы очень тянутся к таким организациям с передовой техникой, берут от туда все ценное для себя. Занимались в США сверхпроводящими магнитами для «Теватрона», а фирмы думали, как их можно применить в жизни, скажем для транспорта на магнитной подушке.

У нас, к сожалению, такой тяги промышленности к фундаментальным исследованиям пока не наблюдается. Физики часто видят новые возможности для промышленности, советуют что-то использовать, но сама промышленность к ним не тянется. Широко распространенный у нас термин «внедрение», по существу, противоречив. Ученый создал нечто для своих целей и может даже ничего не знать о возможности внедрения. Это промышленность должна выхватывать научные достижения, именно это должно быть ее основной целью. Промышленность должна иметь своих творческих представителей в научных центрах, людей цепких, умеющих увидеть то, что им нужно. Только экономические рычаги могут заставить промышленность почувствовать выгоды от связи с наукой. К этому ведут те преобразования, которые у нас происходят: переход на самофинансирование, развитие самостоятельности предприятий. Тогда будет легче решать все проблемы. А пока выходит, что наша физика нужна только физикам. Не использовать в полной мере наш сильный научный потенциал просто недопустимо.

Иными словами, ускорители служат ускорению научно-технического прогресса. Когда промышленность производит изделия,

она продает их. Приходится слышать иногда, как научные центры стремятся создавать новые приборы, производить их, продавать. Может, на таком пути должна осуществляться реализация выгод от науки!

Мы находимся на государственном бюджете. Свою новую разработку передаем промышленности, получаем первые экземпляры продукции и вполне этим удовлетворены. Получать на таком пути дополнительные средства для развития нашей области науки нам не нужно. Должно быть четкое разделение. Конечно, наши институты могут производить аппаратуру, но тогда они отойдут от решения главных проблем. Стоит только окунуться в решение прикладных задач, как это затянется. На первых порах высокий потенциал института позволит кое-что заработать. Но тут же придется решать проблемы совсем другого, ненаучного характера. Мне кажется, что главное — это тесный контакт с промышленностью, ее заинтересованность, а не переориентация центров фундаментальной науки на производство. Скажем, мы придумали изделие, которое может использовать промышленность. Но мы производим его для себя в единичных экземплярах. При массовом производстве многое придется переделать. Наши разработки должны подсказывать промышленности свои решения, пригодные для массового производства. Научные центры не должны этим заниматься, иначе они быстро утратят свою роль как центры фундаментальной науки. Такое случается, но не от хорошей жизни. Некоторые научные центры занимались промышленными разработками, но и издержки такого подхода также были налицо.

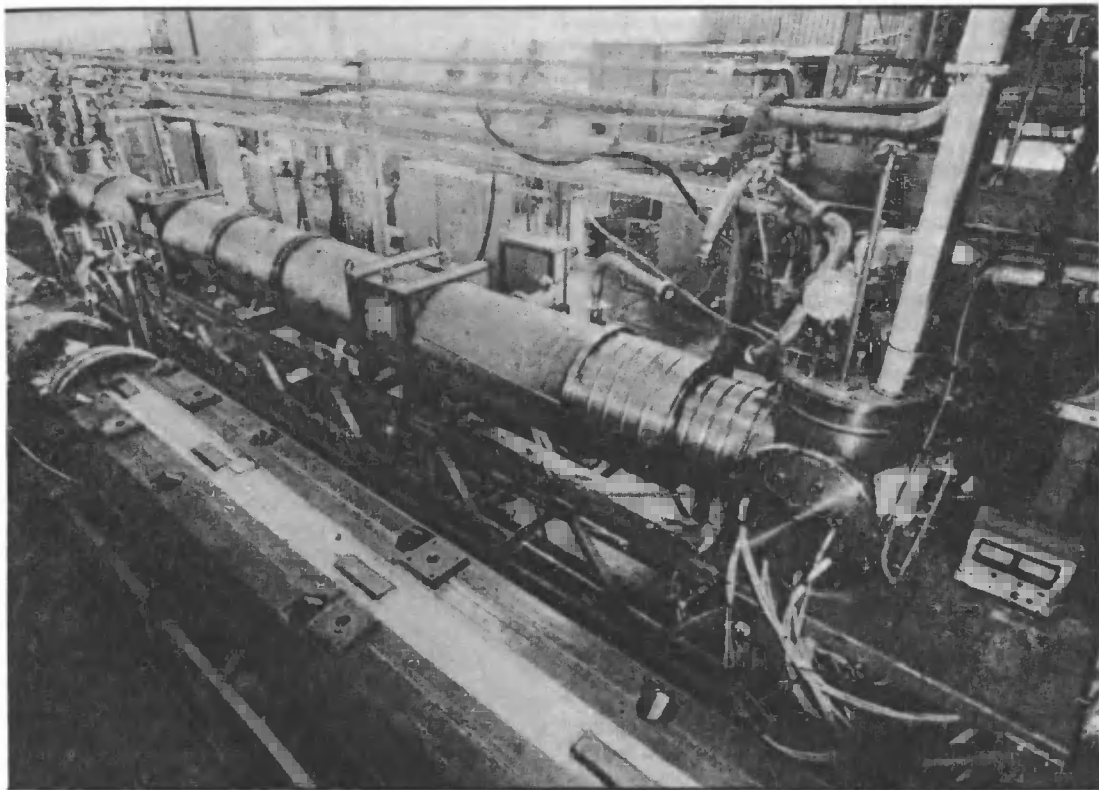
Принято думать, что раз решение принято, а средства выделены, то все вопросы решены. Однако бумагами туннеля не выкопашешь. Как у физиков решаются проблемы рабочей силы, строительства, жилья!

Вы правильно поднимаете эти вопросы. Первое, с чем мы столкнулись, — это проблемы сооружения кольцевого туннеля для УНК. А всего у нас будет около 30 км подземных сооружений, т.е. фактически огромная линия метро. Для этих работ нужен мощный «строительный кулак». Работники Минтрансстроя приезжают в Протвино, им необходимо жилье — тысячи квадратных метров, так как у нас трудится уже около 2 тыс. строителей. Пришлось несколько ущемить интересы сотрудников ИФВЭ, приостановить развитие института. Мы пошли на эти жертвы. Всех проблем мы пока не решили, но правительством намечен ряд дополнительных мероприятий. Сюда относятся, в частности,

ускоренное строительство жилья, поставки комплектов домов из Москвы и Московской области, других городов страны.

Далее, под нашу программу будут выделяться средства в институты и промышленность, но еще не решены вопросы концентрации этой промышленности. По существу, речь идет о воссоздании электрофизи-

развивать. Современная физика, в особенности физика высоких энергий, носит качественно новый характер — она индустриальна. Институт такого профиля — крупнейшее хозяйство, он сродни большому заводу. Ему необходимы и мощная электротехническая аппаратура, и электронные приборы, и механические устройства, и сложные радиофизи-



Сверхпроводящие магниты УНК на исследовательском стенде.

ческого машиностроения. Заводы пока не чувствуют важности развития этой передовой отрасли машиностроения. Задачи, которые ставятся перед промышленностью, трудны: нам необходима современная техника, все время новая, производимая в единичных экземплярах. Для заводов все это тяжело, но иначе эта промышленность не сможет развиваться. Нельзя же жить сегодняшним днем, надо смотреть и в будущее. Так что в этой части остается много проблем.

Решение наших высших органов, говоря языком математики, условие необходимое, но еще не достаточное. Теперь надо концентрировать разные силы и активно их

развивать. Здесь заняты физики различных специальностей, математики, программисты, инженеры, рабочие высокой квалификации. Создание ускорителя на сверхвысокие энергии требует объединения самых современных достижений в разных областях. Если теплотехника, то самая передовая. Отстаеете в механике — уже ничего не получится. И так по всем пунктам.

В чем, по Вашему мнению, главная задача организаторов такой индустриальной науки!

Я думаю, что главное здесь в подключении очень сильных и инициативных людей. У нас не должно быть никакой субординации, когда дело касается науки. Перед лицом

науки все равны. Главное для дела — это не прошлые заслуги, а то, что делает ученый сегодня, завтра.

Наука требует творческой самостоятельности на каждом этапе. Руководитель, какого бы ранга он ни был, не имеет права отвергать что-то только потому, что это не его идея. Когда речь идет о больших проектах, то они под силу только сильному коллективу. Основная задача руководителя такого коллектива — привлечь сильных самостоятельных людей, объединить их на решение целевой задачи. От руководителя требуется общее глубокое понимание проблемы и исключительная выдержка, ибо творчество не любит суеты. Только в этом случае, с учетом всех обстоятельств и многократных обсуждений, может быть принято нужное стратегическое решение.

Иными словами, Вы за большую демократичность в науке!

Безусловно! Важна только ценность идеи, независимо от того, кто ее подал. Обсуждение идей, поиски новых решений, как правило, ведутся совместными усилиями. Демократия вообще присуща науке, без нее она не может развиваться. Всякого рода догматизм был и остается врагом науки. В научных вопросах не должно быть субординации.

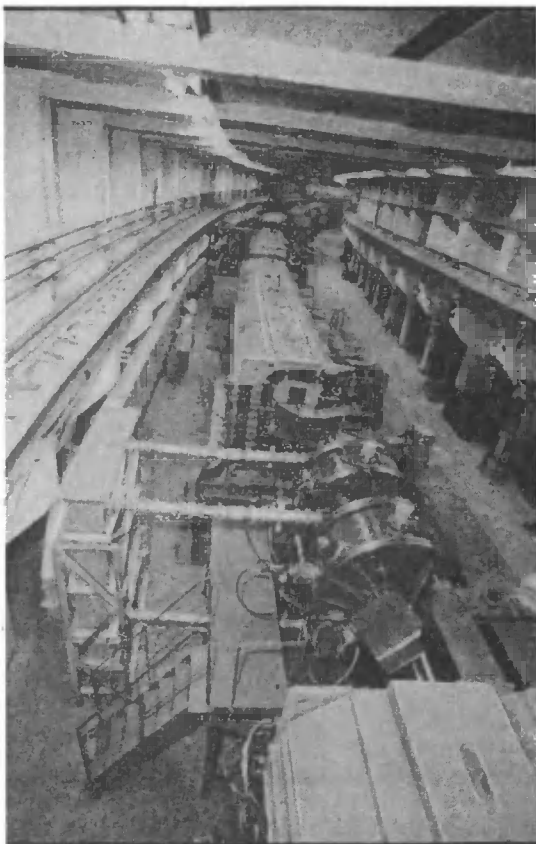
Мы обсуждаем долгосрочную научную программу, и речь зашла у нас о создании сильного коллектива ученых. Как будет решаться кадровый вопрос? Не секрет, что у молодежи в последние годы снизился интерес к физическим специальностям.

Конечно, создавая такой крупный ускорительный комплекс, уже сегодня мы думаем о будущих научных кадрах. На их подготовку нацелены некоторые кафедры Московского университета, Московского физико-технического института, Московского инженерно-физического института, ряда других учебных заведений. Перед нами стоит задача привлечения молодежи, отбор людей специально для нашей программы. В Протвине создан учебный центр, в котором прямо на месте будет идти специальная подготовка студентов. Впоследствии наиболее одаренные из них останутся у нас работать.

Сейчас всех волнуют вопросы радиационной безопасности. Встают ли такие проблемы при эксплуатации крупных ускорителей?

Что такое ускоритель? Там вращается пучок частиц, и радиоактивность появляется только при его соударении с мишенью.

Тогда действительно появляются такие продукты реакций, с которыми опасно работать. И под прямой пучок попасть тоже опасно. Но эти опасности носят локальный характер. Все облученные детали хранятся в специальных местах, куда нет доступа. Вы включаете электроэнергию — ускоритель просто останавливается и через 15—20 мин



Высокочастотная ускоряющая станция УНК, исследуемая в пучке действующего ускорителя У-70.

можно входить в зал. Единственное опасное место — там, где происходили соударения пучка с мишенью, но оно окружено надежной защитой. А вот залезать внутрь, разбирать установку не стоит.

Никаких ядерных взрывных процессов в ускорителях не происходит, так что экологической опасности они не представляют.

А в более широком смысле? Скажем, ускоритель потребляет много электроэнергии. Пишут, что ее хватило бы на целый город.

Потребляемая ускорителем мощность порядка 100 МВт. Величина, в общем, солидная. Достаточно вспомнить, что мощность первой атомной электростанции в Обнинске составляла всего 5 МВт. Но сейчас один блок АЭС дает 1000 МВт. К тому же ускоритель потребляет электроэнергию в импульсном режиме. Так что по современным масштабам потребление энергии не столь уж велико и никак не отражается на окружающей среде. Энергия расходуется в основном на питание ускоряющих систем, электромагнитов, охлаждающих устройств. Специальные демпфирующие устройства гасят при этом колебания тока во внешней сети.

Мы говорили о ближайшем будущем, о реализации конкретной программы. Мы построим ускорительный комплекс, американцы построят суперколлайдер, европейские физики тоже скажут свое слово. Что же дальше? Ведь невозможно строить все более крупные установки. Или мы собираемся опоясать кольцом ускорителя земной шар?

Здесь есть разные пути. Новые установки используют сверхпроводящие магниты, создание которых — сама по себе важная задача. Мы разработали уникальные магниты, промышленность пока таких не производит. У нас есть опытные образцы, за которые промышленность должна бы ухватиться. Ведь это сулит новые возможности в технике. Такие магниты позволяют уменьшить в 3—4 раза размеры кольца ускорителя. Изучая область энергий в несколько ТэВ, мы действительно можем прийти к необходимости исследовать области в сотни ТэВ. Но пока до этого далеко. В процессе научного поиска всегда рождается новая техника, которая делает возможным дальнейшее продвижение вперед. Я не исключаю, что когда-нибудь в земных условиях будут получены энергии, близкие к космическим. Сейчас о такой программе можно думать только абстрактно, она должна быть подкреплена тем экспериментальным материалом, который мы получим на сооружаемых ускорителях.

Не изменит ли существующие проекты недавнее сенсационное открытие высокотемпературной сверхпроводимости?

Сверхпроводимость при высокой температуре выгодна при внедрении в широких масштабах во всей промышленности. У нас же строятся уникальные, единичные установки. Для них уже созданы образцы проволоки, которая успешно прошла испытания, надежно создает необходимые маг-

нитные поля. И за рубежом пока ориентируются на хорошо известные материалы, становящиеся сверхпроводниками при гелиевых температурах. Так что на данном этапе высокотемпературная сверхпроводимость на наши планы влияния не оказывает. Но мы в курсе того, что происходит в этой интересной области науки, и готовы подключиться в нужный момент. Я думаю, что со временем здесь будет достигнут прогресс в создании новых материалов, выдерживающих большую плотность тока и имеющих высокую надежность. Тогда это явление можно будет использовать при создании постоянных магнитов. В ускорителях магниты импульсные, но постоянные магниты применяются в магнитных линзах, где также нужны сильные поля. Я полагаю, что со временем высокотемпературная сверхпроводимость найдет применение в физике высоких энергий.

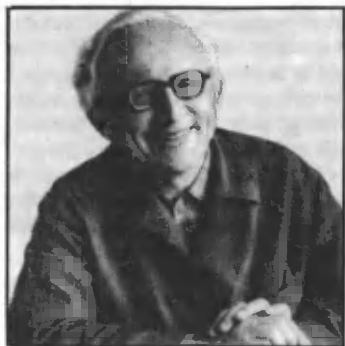
Разрабатываются ли нетрадиционные методы ускорения, которые решат проблему совсем иначе?

По сути, мы уже сейчас создаем новые методы ускорения. Разве ускорители на сверхпроводящих магнитах — это не новое качество, позволяющее получить более высокие энергии при меньших размерах установок? С другой стороны, возьмите линейные пучки. На установке ВЛЭПП будет достигнут огромный темп ускорения — около 100 МэВ/м. Это ведь тоже новое качество.

Идет постоянное совершенствование ускорительной техники. Обсуждаются и другие методы ускорения, скажем с помощью лазеров. Разработки идут, но они далеки от технической реализации. Пока здесь делаются только первые шаги. Ведь к ускорителю, помимо всего прочего, предъявляются жесткие требования относительно надежности. Ему предстоит работать круглосуточно в течение, допустим, месяца. Затем, после небольшой профилактики снова круглосуточная работа. И как можно меньше всяких остановок, поломок. Так что нетрадиционным методам ускорения предстоит еще пройти большой путь от первых плодотворных идей до воплощения «в железе». А пока перед нами большая работа по выполнению программы развития физики высоких энергий, ее реализации в кратчайшие сроки.

Журнал «Природа», традиционно уделяющий большое внимание успехам физики элементарных частиц, будет с нетерпением ждать сообщений о новых открытиях, сделанных на советских установках.

ЛОГИКА И АНАЛОГИИ



Алексей Константинович Скворцов, доктор биологических наук, заведующий отделом Главного ботанического сада АН СССР, профессор Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Основные научные труды посвящены систематике и микроэволюции растений, а также общим вопросам эволюционной теории. Заместитель главного редактора журнала «Природа».

ЛИТЕРАТУРА, посвященная эволюционной теории, необозрима, и поток ее не оскудевает. Это, конечно, свидетельствует и о первостепенной важности этой теории, и о ее непрерывном развитии. Но вместе с тем нельзя не заметить, что на страницах печати из года в год обсуждаются одни и те же проблемы, или, вернее, концентрирующиеся варианты ответа на все еще не решенные теоретические вопросы, в том числе и самые основные: о направленности или ненаправленности эволюции, ее адаптивности или неадаптивности, важности или неважности естественного отбора, преимущественной роли дивергенции или конвергенции, действии одной лишь микроэволюции или же наряду с ней — другого, принципиально отличного процесса — макроэволюции и т. д... Снова возрождаются, лишь несколько модернизируясь, те же разногласия, что существовали 50 или даже 100 лет назад, т. е. теория в известном смысле как бы топчется на месте. Попытки математизации эволюционной теории, начало которым было положено еще в 1930-х годах работами Р. Фишера и С. Райта, захватили лишь отдельные ее частные аспекты и заметных изменений в общую ситуацию не внесли.

Мне кажется, можно значительно улучшить положение, решить ряд старых проблем и быстрее справляться с вновь возникающими проблемами, если шире использовать логику и аналогии, т. е. наиболее универсальные мыслительные инструменты. Конечно, все согласится, что логика в науке важна и необходима, в общей форме это банальная истина, которую незачем обсуждать. На деле же часто (и в истории эволюционной теории немало тому примеров!) очевидные и логически необходимые заключения получают признание с великим трудом, а явные алогизмы держатся долго и цепко. Таким образом, использование логики и аналогий в биологической теории, в частности в теории эволюции, — совсем не такое простое дело.

Вполне понятно, что обнаружение и критика логических прорех в рассуждениях других авторов не пугает самого критикующего от таких прорех. Поэтому я с благодарностью приму от читателя, и специалиста и неспециалиста, указания на недочеты или логические провалы в моих рассуждениях.

ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

Часто приходится слышать: вот, существует теоретическая физика, но нельзя сказать, что существует и теоретическая биология. Отдельные теории в биологии есть, однако теоретической биологии как особой дисциплины нет; не сформулированы основные биологические закономерности и в виде точных количественных отношений.

В ТЕОРИИ ЭВОЛЮЦИИ

А.К.Скворцов

И это, говорят, нужно расценивать как свидетельство незрелости биологии как науки. Вот если бы удалось предложить несколько фундаментальных уравнений, из которых можно было бы вывести всю биологию...

Но почему, собственно, непременно должна существовать теоретическая биология как отдельная дисциплина и почему ее идеалом надо считать теоретическую физику, а идеалом всех биологических объяснений — математически формулируемые зависимости? К тому ли мы стремимся, там ли, где следует, ищем?

Живая материя построена из тех же элементов, что и неживая; но пока мы изучаем то общее, что присуще живой и неживой материи, мы остаемся в рамках физики и химии. Биологию же интересует то, что отличает живое от неживого. Не должна ли поэтому теоретическая биология как раз отличаться от теоретической физики, и не будет ли биологическая теория тем более биологичной, чем меньше она похожа на теорию физическую?

В самом деле, для физических теорий идеалом является неограниченная возможность точных количественно выраженных предсказаний; в этих теориях время (если не отсутствует вовсе) рассматривается как координата, равноценная пространственным.

В биологии же ситуация иная. Биология имеет дело с процессами самоорганизации, саморегуляции и самовоспроизведения открытых систем, с взаимодействием этих систем как «по горизонтали» (т. е. с системами того же или близкого уровня организации), так и «по вертикали» (с учетом соподчинения этих уровней). Системы эти преемственны, они получают от своих предшественников и передают потомкам не только вещество, но и — что еще важнее — информацию. При этом жизнедеятельность каждой системы отнюдь не единообразна на протяжении ее существования и не предопределена целиком изначально: ей постоянно приходится выбирать тот или иной вид дальнейшей деятельности (поведения). Выбор определяется в основном внутренним состоянием системы в данный момент и поступающими извне сигналами, но вместе с тем

почти всегда какую-то роль играет и случайность; диапазон такого выбора, естественно, ограничен возможностями системы. В свою очередь, всякий однажды сделанный выбор оставляет тот или иной след в системе, тем самым влияя на последующие выборы. Значит, требования полного детерминизма и полной точности предсказаний к биологии совершенно неприменимы¹. Время в биологических процессах односторонне, необратимо и неповторимо, т. е. для биологии координата времени не только абсолютно необходима, но и принципиально неравнозначна координатам пространства.

Таким образом, историзм — фундаментальная особенность живых систем. Отсюда существенная необходимость не только синхронической (сиюминутной), но и диахронической (исторической) их характеристики².

Поэтому, вероятно, не только «пока еще», а и в принципе наиболее общие и фундаментальные биологические теории могут быть сформулированы не в абстрактной математической форме, а только в форме дискурсивной, в виде содержательных логически непротиворечивых высказываний. Это, конечно, не исключает возможности придания некоторым теоретическим положениям биологии характера аксиом, из которых как следствия могут быть выведены другие положения³. Не исключает это и целе-

¹ Представление об ограниченности и относительности детерминизма, разумеется, вовсе не означает отрицания онтологического принципа причинности. Некий гражданин шел по улице, и на него упал кирпич, от чего он скончался. Медики зафиксировали причину смерти. Но можно ли считать, что такая кончина была предопределена этому гражданину, что вся его жизнь и была направлена именно к такому завершению?

² В последнее время рожденные в биологии представления об эволюционном процессе, об историзме высказываются и физиками, например И. Пригожиным (Prigogine I. From Being to Becoming: Time and Complexity in the Physical Sciences. S. Francisco, 1980), Д. И. Блохинцевым (Блохинцев Д. И. Размышления о проблемах познания и творчества и закономерности процессов развития // Теория познания и современная физика. М., 1984).

³ Проблему аксиоматизации биологии первый поднял, по-видимому, Вуджер (Woodger J. H. The Axiomatic Method in Biology. Cambridge, 1937). Однако позитивистские исходные предпосылки и формальная логика понятий Вуджера оказались настолько далеки

сообразности использования математических методов в биологических исследованиях, а также широкого сотрудничества биологии с физикой; напротив, надлежащее понимание специфики каждой науки только содействует прочности и продуктивности такого сотрудничества.

Биологические объекты обладают колоссальным качественным разнообразием. Его масштабы уже на уровне видов потрясают: например, по современным оценкам, на Земле около 300 тыс. видов цветковых растений и около 2 млн видов насекомых. Еще больше разнообразие индивидуальных организмов: ведь при нормальном половом размножении каждый индивид генетически чем-то отличается от любого другого. Пока изучение живых объектов шло на уровне видов и организмов, можно было надеяться, что на более глубоком, молекулярном уровне качественное разнообразие удастся свести к единым количественным закономерностям. Но молекулярная биология этих надежд не оправдала. Не обнаружилось и намеков на какую-либо единую закономерность, из которой бы вытекало, что при синтезе белка такая-то аминокислота должна кодироваться именно таким-то набором нуклеотидов, или что в таком-то белке последовательность аминокислот должна быть именно такой, или что именно такой-то, а не другой белок должен осуществлять определенную функцию и т. д.

Качественное разнообразие биологических объектов определяет наличие в биологии множества частных теорий, не сводимых в единую общую теорию. Таковы, например, теории одной из фундаментальных биологических дисциплин — систематики. Так, утверждение, что березы, широко распространенные в лесах нашей Европейской части, Кавказа и Сибири, представляют собой два самостоятельных вида, березу бородавчатую и березу пушистую, — это частная теория, объясняющая те сходства и различия (в морфологии, цитологии, химии, генетике, экологии, распространении), которые мы наблюдаем, сравнивая отдельные экземпляры берез. При построении

такой теории используются некоторые общие понятия или метатеории (в частности, понятие вида), тем не менее непосредственно вывести эту конкретную частную теорию из какой-либо общей нельзя; нельзя ее и ни к какой общей целиком свести. Другой вывод систематики растений — что береза и ольха представляют собой разные роды одного семейства — относится уже к иной частной теории, которая так же не сводима ни к какой более общей, а вместе с тем и совершенно независима от предыдущей теории, несмотря на то что и в той, и в другой фигурируют березы.

Как же быть с оценками «зрелости» или «незрелости» биологии по степени схождения ее теоретического багажа с теориями физическими или по степени сведения ее к количественным закономерностям? Думается, критерии эти выдвигаются без должных оснований. В этом можно убедиться на простом рассуждении. Если имеются некоторые общие критерии зрелости науки, они, очевидно, должны быть равно приложимы ко всем наукам, в том числе и к математике. А как по степени математизации определить зрелость самой математики? Считать ли ее зрелой наукой уже с того момента, когда наш далекий предок сумел констатировать, что $1+1=2$? К тому же, то, что кажется зрелым сегодня, завтра может оказаться еще незрелым. Короче говоря, постановка вопроса о зрелости и выдвижение ее как цели, к которой должна стремиться биология, выглядит весьма сомнительно.

Ориентироваться же нужно на действительно существующие и общие всем наукам цель, методы и критерии. Цель — глубже познать явления реального мира (однако сколько бы наука ни «зрела», цель эта все равно остается впереди). Критерии научности: непротиворечивость утверждений и их проверяемость⁴. Методы: наблюдение, моделирование, логика и интуиция.

Из названных методов наблюдение,

от биологической конкретности, от биологической «логики вещей», что его труд никакого влияния на теоретическую мысль биологии не оказал. Столь же чуждой биологам осталась и предпринятая в духе Вуджера, но уже сравнительно недавно, попытка дать формально-логическое аксиоматическое обоснование специально для дарвиновской теории (Williams M. B. // J. Theor. Biol. 1970. Vol. 29. No 3. P. 343—385). Более интересна и содержательна, несмотря на чрезвычайно популярный стиль изложения, книга: М е д н и к о в Б. М. Аксиомы биологии. М., 1982.

⁴ Известный современный западный философ К. Р. Поппер в качестве критерия научности предлагает «фальсифицируемость»: научным можно признать только такое утверждение, которое допускает возможность его опровержения дальнейшими фактами (см.: Поппер К. Р. Логика и рост научного знания // Избр. работы. М., 1983). Но хотя предложение Поппера и получило довольно широкое распространение, оно, по существу, является лишь ненужным словесным усложнением: предпринимается ли проверка утверждения с целью его подтверждения или же с целью его опровергнуть — и то, и другое одинаково покрывается термином «проверяемость». В более подробный анализ не лишенный интереса, но и далеко не бесспорных рассуждений Поппера здесь вдаваться, конечно, не место.

пожалуй, в особых пояснениях не нуждается; относительно прочих необходимы некоторые комментарии.

Логика и интуиция — это антиподы и вместе с тем дополняющие друг друга союзники. Диалектика взаимоотношений логики и интуиции давно интересует философов⁵. Кратко, но удачно выразил суть дела известный математик А. Пуанкаре: «Логика и интуиция играют каждая свою необходимую роль. Обе они неизбежны. Логика, которая одна может дать достоверность, есть орудие доказательства; интуиция есть орудие изобретательности»⁶.

Хотя Пуанкаре имел в виду прежде всего математику, его слова приложимы и к другим наукам. При этом может статься, что интуитивно некоторое утверждение сформулировано (т. е. выдвинута гипотеза), но строгое логическое доказательство еще не найдено (в частности, и в математике некоторые интуитивно предложенные теоремы десятилетиями дожидались своего доказательства). Бывает и иначе: логическую связь между некоторыми утверждениями установить вовсе не трудно, но тем не менее она долгое время остается скрытой: не хватает интуиции, чтобы определить, где следует хорошенько копнуть лопатой логики. Возможен и третий вариант: в достаточно, казалось бы, детально разработанных и принятых большинством ученых теоретических построениях могут существовать значительные логические прорехи, неувязки, но их долгое время не обнаруживаю.

Читатель, вероятно, заметил, что в перечислении научных методов не упомянуты эксперимент или использование математического аппарата. Дело в том, что и эксперимент, и установление математических зависимостей — это лишь частные случаи моделирования. В общем виде моделирование можно определить как сопоставление изучаемого явления (объекта, процесса, закономерности) с моделью — другим явлением, которое мы считаем понятным; тем самым мы приближаемся к пониманию изучаемого явления. Словесное описание в точных терминах — тоже частный случай моделирования, как и графическая схема, чертеж, механическая или компьютерная модель. Для данной задачи может быть создан

на специальная модель, но в качестве модели могут быть использованы и объекты, уже существовавшие до постановки этой задачи и независимо от нее. Эффективность модели определяется не столько материалом, из которого она построена, или ее происхождением, сколько тем, в какой мере соотношение компонентов и зависимостей в ней аналогично соотношениям в изучаемом явлении.

Сейчас у биологов особенно престижны математические модели, как имеющие строгую форму и более приспособленные выдавать количественно выраженные предсказания. Но вместе с тем математические модели имеют и недостаток: они строятся на основе некоторых исходных посылок, как правило, сильно упрощающих реальную ситуацию, а абстрактный характер модели подчас затрудняет суждение о ее соответствии изучаемому явлению. Еще выдающийся физик XIX в. Дж. Максвелл отмечал, что, прибегая к математическим выражениям, «мы совершенно теряем из виду объясняемые явления и потому не можем прийти к более широкому представлению об их внутренней связи»⁷. Модель не абстрактная, а имеющая реальное содержание, выглядит не столь строго (особенно в количественном отношении), но зато может оказаться более наглядной и адекватной изучаемому явлению.

Интересным и эффективным вариантом моделирования может служить проведение аналогий между явлениями и процессами, принадлежащими к далекому друг от друга областям как самого реального мира, так и изучающих его наук.

Уже К. Линней в XVIII в. использовал аналогии для пояснения принципов систематики: он сравнил разделы естественной системы с территориями на географической карте. Эта простая, как бы даже наивная аналогия удачно отражает, во-первых, реальную естественную целостность систематических единиц; во-вторых — разнообразие их величин, границ и внутреннего содержания; в-третьих — разную степень близости одних к другим; наконец, она позволяет рассматривать названия таксономических единиц не как имена нарицательные, а как имена собственные — подобно географическим названиям, что, конечно, совершенно правильно, хотя до сих пор не вполне осознано.

Если бы в последующем систематике не забыли эту линнеевскую аналогию, их современные теоретические представления

⁵ Недавно эта тема затрагивалась и на страницах нашего журнала. См., напр., рецензии на книгу Е. Л. Фейнберга «Кибернетика, логика, искусство»: Фабрикант В. А. Для чего искусство? // Природа. 1982. № 3. С. 121—123; Скворцов А. К. Логическое и внелогическое в познании истины // Там же. С. 123—126.

⁶ Пуанкаре А. О науке. М., 1983. С. 167.

⁷ Максвелл Дж. К. Избр. соч. по теории электромагнитного поля. М., 1954. С. 12.

во многом выиграли бы; систематика не была бы столь приверженной к формализму и схоластике, усиленно привносимым в нее позитивистскими настроенными авторами — «номиналистами», по терминологии Э. Майра⁸.

Известно, что на ход мыслей Дарвина при создании теории эволюции повлияли две аналогии: практика селекционеров и «теория народонаселения» Мальтуса. При этом не имело значения, справедлива ли теория Мальтуса в той области, для которой она была предложена: главный интерес для Дарвина представляла лишь ее логическая схема. В свою очередь, дарвиновская теория эволюции использовалась и продолжает использоваться многими авторами в качестве модели-аналога для объяснения ряда других процессов развития: языков, культуры, науки и т. д.

И хотя аналогии широко применяются в физике, а с общих философско-методологических позиций правомерность их использования достаточно серьезно обобщена, сравнение далеких друг от друга объектов и процессов часто воспринимается как нечто не вполне научное. Вспомним, какое сопротивление встретила кибернетика, которая строилась на аналогиях между весьма отдаленными областями. Да и любой автор статьи, представляемой в «серьезный» естественнонаучный журнал, немедленно ощутит такое же сопротивление, если он осмелится в научной статье проводить аналогии, например с житейской практикой, или цитировать ненаучную литературу: редактор это все «зарубит», и тут уж не то что К. Пруткову или И. Крылову, но и самому А. Пушкину пощады не будет⁹. Несколько лет назад я, стараясь пояснить, что цель биологической систематики — построение системы, а не классификации и что классификация и система понятия совершенно различные, приводил в качестве аналогии тот очевидный факт, что систему учреждений Академии наук нельзя назвать классификацией этих учреждений, так же как план города нельзя назвать классификацией улиц и домов. Редактор усомнился, допустимы ли такие аналогии в строгом научном контексте. Мне удалось убедить редактора их не исключать, однако в научности этих аналогий мне, кажется, убедить его не удалось.

УТОЧНЕНИЕ ВАЖНЕЙШИХ ПОНЯТИЙ

Причиной многих разногласий и недоразумений в эволюционной теории было то, что в одни и те же термины и понятия разные исследователи вкладывали разный смысл. Во избежание таких недоразумений уточним основные понятия, которыми придется далее оперировать.

Эволюция — последовательное, постепенное изменение во времени. При этом обычно подразумевается, что в наблюдаемом изменении можно обнаружить некоторую упорядоченность, выявить, хотя бы ретроспективно, какую-то определенную траекторию (но речь не идет об изменении циклического характера); скорость изменений не предполагается обязательно постоянной. Понятие «эволюция» приложимо к самым разным объектам: можно говорить об эволюции Вселенной, эволюции Солнечной системы, эволюции земной коры, об эволюции культуры и цивилизации, эволюции идей какого-либо мыслителя, эволюции костяма; в биологии — об эволюции всей биоты Земли, видов и популяций, органов и тканей, клеточных и внутриклеточных структур, включая и молекулярные. Однако когда биолог говорит просто «эволюция», он имеет в виду эволюцию на популяционно-видовом или надвидовом уровне организации жизни. Она заключается в происходящем в ряду поколений изменении морфологических и экологических характеристик организмов, основанном на соответствующем изменении заложенной в этих организмах генетической информации.

Филогенез (филогения) — процесс преобразования какого-либо раздела живого мира в ходе эволюции за длительные периоды времени; так же называют и конкретные результаты этого процесса, представленные во всей своей непрерывности (истории). Результаты филогенеза именуют и филогенетическим древом.

Генотип — совокупность наследственной информации, полученной организмом, или, иначе, генетическая программа организма, программа всего, на что данный организм в течение своей жизни способен. В течение жизни организм (а также, если таковое имеется, всего его вегетативного потомства) генетическая программа, как правило, не меняется. Изменения в ней могут наступить только случайные и непредусмотренные. Наряду с индивидуальным генотипом отдельного организма можно говорить о коллек-

⁸ М а й р Э. Принципы зоологической систематики. М., 1971. С. 68—69.

⁹ Блюстители «строгой научности» часто ссылаются на известную французскую поговорку: *comparaison n'est pas raison* (сравнение — это не обоснование). Но речь и не идет об обосновании, речь идет о понимании, поэтому более уместным будет, пожалуй, другое выражение: *grâce à la comparaison, nous comprenons* (благодаря сравнению мы понимаем).

тивном генотипе (генофонде) популяции или вида.

Фенотип — конкретное состояние организма, формирующееся в результате взаимодействия генотипа и внешних условий. В отличие от генотипа, фенотип непрерывно изменяется в течение всей жизни организма.

В. Иогансен, который в начале нашего века предложил понятия генотипа и фенотипа, обладал образцовой ясностью мысли и языка. Но с его времени биология продвинулась далеко вперед. Уже после работ Иогансена наряду с понятием генотипа вошло в обиход понятие генома; еще позже стало использоваться в биологии представление об информации, возникли понятия «наследственная информация», «информационные молекулы».

Геном — структуры, в которых закодирована наследственная информация, но употребление этого термина не очень четкое: иногда им обозначают только основной набор хромосом (X), иногда — гаплоидный набор (n) или даже диплоидный (2n); говорят также о геноме хлоропластов или митохондрий. Правильнее называть геномом совокупность всех структур, несущих закодированную наследственную информацию.

Очень важно ясно представлять критерий различия генотипа и фенотипа: все структуры организма — это части фенотипа, в том числе и те структуры (ядро, хромосомы, ДНК и РНК), в которых записана генетическая программа. Генотип же — это не структура, а только информация, т. е. некоторое смысловое содержание. Точно так же в книге: бумага и шрифт несут в себе содержание, но сами содержанием книги не являются. Компьютер содержит в себе многообразную информацию, но сам информацией не является. Основываясь на некоторых формальных подходах, можно и к информации, и к различным вещественным структурам приложить единую меру неслучайности, или упорядоченности, например, выразить ее в битах. Но отсюда логически не вытекает тождественность понятий «информация» и «упорядоченность структуры» — как из того, что количество яблок и гвоздей можно измерить килограммами, не вытекает тождественность яблок и гвоздей. Поэтому нельзя отождествлять процесс извлечения информации, записанной на определенном материальном носителе, с помощью определенного условного кода, с процессом получения информации о некотором объекте в результате исследования его структуры.

Отождествляя информацию со структурой, биолог заходит в тупик или приходит

к постановке псевдопроблем. Например, неоднократно поднимался вопрос: в чем содержится больше информации — в курице или яйце? Несомненно, на основании изучения структур взрослой курицы можно написать гораздо более объемистый трактат, нежели по результатам изучения структур ее яйца. Но, с другой стороны, оценивая потенциальные возможности (генотип) яйца, можно сказать, что в зависимости от условий развития из него может получиться несколько разных фенотипов, т. е. информации как будто больше в яйце. Вывод: изучение поставленного вопроса для биологии не более продуктивно, чем изучение его классического предшественника — вопроса: что было прежде — курица или яйцо?

Дарвиновская теория эволюции (дарвинизм) — это теория, в основе которой лежит дарвиновское представление о естественном отборе. Со времен Дарвина биология ушла далеко вперед, поэтому вполне закономерно, что современный дарвинизм сильно отличается от представлений самого Дарвина и при обсуждении современных проблем теории цитатами из трудов Дарвина уже ничего не доказывать, ни опровергнуть нельзя. В современном понимании дарвиновская теория касается только механизма эволюции. Механизм этот состоит из взаимодействия двух компонентов: генотипической изменчивости (в самом широком смысле) и естественного отбора. Изменчивость имеет ненаправленный характер и сама по себе, без отбора, к эволюции не приводит. Для осуществления же отбора, чтобы он не приводил просто к сокращению численности особей, необходима достаточная интенсивность размножения; ее можно рассматривать в качестве третьего необходимого компонента механизма эволюции.

Термин «адаптация», а также производные от него («адаптироваться», «адаптированный», «адаптивный» и т. п.) имеют точные русские эквиваленты: «приспособление», «приспособляться», «приспособленный», «приспособительный» и пр. Латинская приставка «ad» и русская «при» — одинаково требуют указания о приспособлении к чему идет речь, каков функциональный смысл данного приспособления. При этом «приспособление» в равной мере можно понимать как обозначение и некоторого процесса, и результата этого процесса; результат можно обозначать также как «приспособленность». Реально мы чаще всего имеем дело именно с результатами, т. е. уже с приспособленностью к чему-то.

К чему же может быть приспособленность? Прежде всего, конечно, к условиям

существования. Но всякое существование складывается из конкретных функций. Значит, говоря про клетку, ткань, орган, что они адаптированы к определенным условиям, мы утверждаем, что они могут успешно функционировать в этих условиях; про организм же или вид мы скажем, что их адаптация означает способность в таких-то условиях успешно существовать. Например, легкие человека адаптированы к определенному газовому составу воздуха и определенному атмосферному давлению — т. е. в этих условиях они успешно снабжают тело кислородом и удаляют углекислоту. А перистый ковыль адаптирован к определенным почвенно-климатическим условиям и к биоценозу — т. е. способен в этих условиях нормально существовать как вид.

Никакого принципиального различия между понятиями адаптации и успешного функционирования или существования нет. Разница в том только, что термины «функционирование» или «существование» можно употреблять без ссылок на какие-либо условия, а говоря об адаптации такую ссылку нужно дать. Все попытки провести какое-либо принципиальное различие между адаптацией и функцией совершенно алогичны и произвольны. К сожалению, не избежал здесь алогизма даже такой выдающийся теоретик эволюции, как И. И. Шмальгаузен¹⁰. Обозначив адаптацию как процесс морфофизиологической перестройки организма, определяемый изменением внешней среды, и справедливо отметив, что под адаптацией понимают также и результат этого процесса, т. е. физиологическую и морфологическую приспособленность, он затем утверждает, что только изменение функции есть адаптация, никакая же конкретная функция (результат изменения!) адаптацией не является. Налицо не только явное противоречие между двумя утверждениями (адаптация есть также и результат процесса; результат процесса не есть адаптация), но и явное несогласие с той элементарной истиной, что в эволюции нет конца, окончательного результата; всякий «результат» — лишь какая-то точка непрерывного пути.

Любая адаптация — явление сложное, состоящее из системы частных адаптаций. Так, эффективность (т. е. адаптированность) дыхательной системы человека складывается из эффективности ее основных компонентов: скелетно-мышечного аппарата, верхних дыхательных путей, бронхиальных древ, альвеол, кровеносных сосудов легких. А ус-

пешная функция каждого из этих компонентов, в свою очередь, обуславливается эффективностью еще более частных деталей — вплоть до молекул. Поэтому адаптивность каждой детали любого уровня можно рассматривать отдельно, но при этом нельзя считать, что она и формировалась, и существует самостоятельно: ведь реальными объектами естественного отбора служат не отдельные признаки, а целые организмы; значит, и все адаптации возникают и имеют смысл не сами по себе, а только в системе целого организма.

Понятие адаптации не включает в себя требований уникальности и оптимальности. Говоря, что такой-то организм или вид адаптированы к каким-то условиям, мы вовсе не утверждаем, что к этим же условиям нельзя быть адаптированным лучше или же совсем иным способом. Одну и ту же задачу разные организмы решают по-разному. По-разному передвигаются по поверхности земли лягушка, ящерица и змея; по-разному проходит опыление у растений; в толпе людей на улице все одеты по сезону (адаптированы), но у всех одежда разная; самые разные языки пригодны для выражения одной и той же мысли и т. д. И тем не менее подчас выдвигается требование, чтобы адаптация подходила к условиям существования, как ключ к замку, т. е. была бы единственно возможной и притом непременно оптимальной — требование столь же нелогичное, сколь и небіологичное.

Нельзя также упускать из виду, что организм — это не только взрослый индивид: это весь онтогенез, начиная от зиготы. И едва ли не самая важная и ответственная во всей жизни особи задача — без нарушений пройти ранние стадии онтогенеза; на этих стадиях, стало быть, самое главное проявление и главный критерий адаптированности — устойчивость в осуществлении именно того конкретного пути развития, который должен привести к становлению достаточно жизнеспособной взрослой особи. Если же стереотип раннего онтогенеза нарушится, то получится, как у Пушкина в «Сказке о царе Салтане»:

Родила царица в ночь
Не то сына, не то дочь,
Не мышонка, не лягушку,
А неведому зверушку.

А «неведому зверушку» вряд ли могут ожидать радужные перспективы.

И, наконец, последнее замечание об адаптациях: в рамках вида далеко не все особи функционально (т. е. адаптивно) равнозначны, и существуют они не изолированно друг от друга. Поэтому адаптирован-

¹⁰ Шмальгаузен И. И. Пути и закономерности эволюционного процесса. М., 1983. С. 94—95.

ность вида — отнюдь не простая сумма (или средняя величина) адаптированности отдельных особей. Адаптация вида включает в себя и определенные взаимоотношения между особями и популяциями. Для эволюции же, понятно, наиболее важна итоговая адаптированность вида в целом, как целостной системы надорганизменного уровня. А так как крайне разнообразны и внешние условия, с которыми могут сталкиваться организмы, и адаптивные возможности самих организмов, то в результате совокупности адаптаций каждого вида оказывается специфической, уникальной, отличной от общей адаптированности любого другого вида.

ЛОГИКА В ИСТОРИИ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ТЕОРИИ

Почему эволюционная теория Дарвина, в противоположность теории Ламарка, появившейся на 50 лет раньше, получила поразительно быстрое и широкое признание? Ведь она, как и теория Ламарка, не имела прямых доказательств. Дело в том, что теория Дарвина удовлетворяла логике естествоиспытателя: она объясняла малопонятные явления через более понятные, доступные, по крайней мере в принципе, эмпирической проверке. Ламарк же в качестве объяснений выдвигал принципы отвлеченные, еще менее эмпирически «косязаемые» и проверяемые, чем то, что они призваны были объяснить. Дарвиновская же теория представлялась и достаточно внутренне логичной.

Однако уже вскоре после появления теории Дарвина в ней обнаружились логические недоработки. Первая из них, замеченная в 1867 г. инженером Ф. Дженкином (так называемый «кошмар Дженкина»), состояла в следующем: в дарвиновской схеме эволюционной дивергенции (расхождения) не учитывалась возможность скрещивания между разошедшимися ветвями, скрещивания, которое должно всю начавшуюся дивергенцию свести на нет. Теперь это затруднение кажется наивным, и выход из него логически напрашивается сам собой: нужно принять простое дополнительное условие — изоляцию, препятствующую скрещиваниям дивергирующих популяций. Однако когда зоолог М. Вагнер в 1868 г. предложил теорию географического видообразования, которая, в сущности, и вводила это необходимое условие, то и сам Вагнер, и большинство дарвинистов сочли географическое видообразование альтернативой теории Дарвина.

Среди генетиков бытует и другое представление о том, как был нейтрализован «кошмар». Полагают, что «кошмар Дженкина» потерял значение в результате работ Г. Менделя, показавших дискретность единиц наследственности, и тем самым, несостоятельность прежних представлений о количественной непрерывности, «слитности» наследственности. Таким образом, если появившаяся мутация в дальнейших поколениях не обнаруживается, то, по Менделю, это не значит, что она «растворилась»: она может длительно сохраняться в популяции в качестве рецессивной, а затем вновь проявиться в гомозиготном состоянии. Но нетрудно видеть, что такие рассуждения отнюдь не устраняют «кошмара Дженкина». Ведь появление новой мутации еще не есть эволюционная дивергенция: это лишь проявление индивидуальной изменчивости, совершенно неопределенной в смысле адаптивного значения. Об эволюционной же дивергенции можно говорить тогда, когда мутация закрепится естественным отбором в какой-либо части исходной популяции, но будет отсутствовать в других частях. А это и может произойти только при их изоляции. В противном случае новая мутация распространится по всей популяции, и «кошмар Дженкина» вступит в полную силу. К этому нужно еще добавить, что наследственность имеет дискретную структуру только для индивидуальных генотипов; коллективный же генотип популяции может иметь любые частоты аллелей и поэтому по любым меняющимся признакам может рассматриваться в рамках концепции слитной наследственности.

Второй значительной логической недоработкой теории Дарвина было несоответствие идеи естественного отбора распространенному среди биологов XIX в. представлению о наследовании приобретенных признаков, которого придерживался и сам Дарвин. Ведь если модификации, т. е. особенности фенотипа, приобретенные в онтогенезе в ответ на некоторые воздействия внешней среды, наследуются, то этим, очевидно, можно объяснить адаптивную эволюцию и без естественного отбора. Эту логическую неувязку не распознал ни сам Дарвин, ни первые приверженцы его теории. Более того, когда А. Вейсман в конце XIX в. понял алогизм ситуации и выдвинул тезис о ненаследовании приобретенных признаков¹¹, то дарвинисты еще долгое время считали вейсманнизм теорией, противостоящей дарвинизму.

¹¹ Weismann A. Über die Vererbung. Jena, 1883.

Вейсман доказал ненаследуемость приобретенных признаков как логически, сопоставляя и анализируя известные факты, так и прямым экспериментом: отрубал мышам хвосты в течение 22 поколений подряд и не обнаружил бесхвостого потомства. Этот эксперимент Вейсмана сочли логически необидительным: мол, изучалась наследуемость не естественной адаптивной модификации, а искусственного повреждения. На самом деле логически несостоятельна такая оценка эксперимента Вейсмана: во-первых, немалая часть фигурировавших в литературе примеров якобы имевшего место наследования приобретенных признаков также относилась к различным повреждениям¹², во-вторых, единственным внятым сформулированным представлением о возможном механизме наследования приобретенных признаков была гипотеза пангенеза Ч. Дарвина (согласно которой из всех органов тела в половые клетки поступают некие мельчайшие «геммулы», передающие потомству признаки родителей), которая совершенно разбивалась экспериментом Вейсмана.

Но для опровержения тезиса о наследовании приобретенных признаков эксперимент вообще не нужен, ибо нетрудно показать, что это представление противоречит повседневным фактам и поддерживается только с помощью произвольных, не выдерживающих ни фактической, ни логической проверки допущений и оговорок, а то и просто мифов.

Например, если светлокотже супруги переехали на юг, приобрели на южном солнышке темный цвет кожи, и у них родился темнокожий ребенок, то ученый, убежденный в наследовании приобретенных признаков, может воспринять этот факт как доказательство своей правоты. Но уже обыкновенный житейский опыт в таком объяснении заставит усомниться. А строгая научная логика его и вовсе не примет: ведь у родителей кожа потемнела только после длительного воздействия солнца, и если младенец родится уже темным, значит, его кожа имеет свойство, которого у родителей не было (о выщеплении рецессивных генов тут не может идти речь, так как гены темной окраски доминантны).

Представление о наследовании приобретенных признаков заходит в тупик и перед тем обыкновенным фактом, что потомство

не наследует столь существенной «приобременной» характеристики родителей, как их возраст: возьмем ли мы семечко от тысячелетнего дерева или от молоденького, только что вступившего в плодоношение, — в обоих случаях сеянцы будут начинать свое развитие от одной и той же точки.

Вейсман выдвинул еще один важный тезис: об обособленности «зародышевой плазмы» от «сомы». На современном языке мы бы могли сказать, что каждая живая система состоит из двух подсистем: несущей наследственную информацию и управляющей развитием особи (зародышевая плазма) и осуществляющей жизнедеятельность (сома). При этом элементы первой подсистемы — кодирующие структуры — не могут возникать заново или из других структур тела (сомы) либо превращаться в другие структуры: они умножаются только воспроизводя себя путем матричной репликации.

Очевидна тесная логическая связь второго тезиса Вейсмана с первым — о невозможности наследования приобретенных признаков; из сочетания обоих тезисов следует, что наследственная информация в ходе онтогенеза особи может только копироваться или же «развертываться» (проявляться) на фенотип, но не может с фенотипа «свертываться».

Фундаментальное значение положений Вейсмана не только для теории эволюции, но и для всей биологии позволяет говорить о них как об аксиомах биологии. При этом тезис об обособленности кодирующих структур от сомы, очевидно, в логическом порядке должен быть первым; его можно назвать аксиомой организации живого (или первой аксиомой Вейсмана), а тезис о ненаследуемости приобретенных признаков — аксиомой наследования (или второй аксиомой Вейсмана)¹³.

Однако полное признание идеи Вейсмана получили далеко не сразу. Когда в 1950-х годах Дж. Уотсон и Ф. Крик создали представление о двойной спирали ДНК как носителя наследственной информации, многие биологи восприняли это чуть ли не как потрясение основ: господствовало убеждение, что такая роль должна принадлежать белку. А ведь первая аксиома Вейсмана как раз позволяла предполагать, что: в отличие от сомы, построенной в основном из белков, «зародышевая плазма» может иметь другую

¹² Из ближайших к нашему времени упоминаний: Павловский Е. Н., Первомайский Г. С. // Известия АН СССР. Сер. биол. 1949. № 6. С. 702—708.

¹³ Из четырех аксиом, предлагаемых для биологии Б. М. Медниковым (цит. соч., с. 30, 41), две первые — лишь иначе сформулированные аксиомы Вейсмана.

химическую основу. В сенсации, вызванной открытием Уотсона и Крика, имени Вейсмана почти и не было слышно, а ведь двойная спираль оказалось не чем иным, как материальной конкретизацией «зародышевой плазмы».

Недооценка значения аксиомы Вейсмана сказалась и позже. Когда в 1970-х годах открыли обратную транскрипцию (переписка информации с РНК на ДНК), антидарвинисты не преминули заявить, что найден путь переноса информации с фенотипа на генотип. Но, с точки зрения аксиомы Вейсмана, ясно, что и ДНК, и РНК, и процессы транскрипции находятся в рамках «зародышевой плазмы», и только процессы трансляции представляют собой принципиальный переход от «зародышевой плазмы» к соме. Однако для трансляции, как и следовало ожидать, обратного хода открыто не было.

Но вернемся к рубежу XIX—XX вв. Отказ от признания наследования приобретенных признаков выдвинул на первый план значение неопределенной (мутационной) изменчивости. Однако в те времена она была еще мало изучена; в частности, были не ясны ее причины и источники, механизмы и частота. Еще в 1922 г. Л. С. Берг категорически утверждал, что мутации столь редки и малочисленны, что естественному отбору не из чего отбирать (главный аргумент Берга против дарвинизма). Вейсман понимал, что для логической завершенности дарвиновской теории необходимо найти источники неопределенной изменчивости, и пытался решить этот вопрос, но безуспешно.

Тогда же С. И. Коржинский и Х. Де Фриз предложили теорию эволюции, объяснявшую появление новых видов только мутациями — внезапными, непредвиденными и резкими изменениями наследственного багажа организмов. Естественному отбору отводилась лишь второстепенная роль. «Мутационизм» и «менделизм», отстаивающие большое постоянство наследственных задатков, стали противопоставляться «устаревшему» дарвинизму. Период такого «генетического антидарвинизма»¹⁴ длился почти треть XX в. Ослепленные «математической точностью» экспериментальных генетических данных, даже ведущие биологи не видели, что «мутационизм» как раз и слу-

жит тем самым недостававшим дарвиновской теории логическим звеном, которое искал Вейсман. Еще в 1932 г. этого не видел крупнейший генетик-экспериментатор того времени Т. Морган. Увидели же не экспериментаторы, а натуралисты-энтомологи С. С. Четвериков, а затем и Ф. Г. Добжанский¹⁵. С их работ начинается современная теория эволюции (современный дарвинизм), называемая часто синтетической теорией эволюции.

Резюмируя, можно сказать, что основные этапы развития теории эволюции состояли в обнаружении логической связи и даже логической необходимости там, где, казалось, существовали непреодолимые противоречия. Такова примечательная особенность истории эволюционной теории.

Заслуживает внимания и еще одна характерная особенность этой истории. Основоположителем теории был биолог широкого профиля, истинный натуралист Ч. Дарвин. И все те, кто в дальнейшем внес наибольший вклад в развитие теории (М. Вагнер, А. Вейсман, С. С. Четвериков, Ф. Г. Добжанский, И. И. Шмальгаузен), были биологами широкого профиля, натуралистами, систематиками. Той же широтой знаний и интересов отличались орнитолог-натуралист и систематик Э. Майр, зоолог и палео-зоолог-систематик Дж. Г. Симпсон, орнитолог-натуралист и генетик Н. В. Тимофеев-Ресовский, оставившие заметный след в истории дарвинизма. И хотя со временем слово «натуралист» стало немодным, Ф. Г. Добжанский, например, и по конец жизни, после десятилетий работы по генетике популяций, продолжал называть себя натуралистом. В то же время экспериментаторы и лабораторные исследователи, начиная с самого Г. Менделя, при всей значимости полученных ими результатов, не могли найти им должного места в теории эволюции и заметно развить ее. Таким образом, аналитический подход — нацеленность на глубину проникновения и количественную точность суждений в какой-либо одной избранной области биологии — оказался для построения эволюционной теории не столь важным, как подход синтетический — способность к широкому охвату многообразия живых существ и их отношений между собой и к среде обитания.

(Окончание см. в № 3 1988 г.)

¹⁴ Завадский К. М. Развитие эволюционной теории после Дарвина. Л., 1983. На западе для обозначения этого периода появилось выражение «затмение дарвинизма» (Bowler P. J. The Eclipse of Darwinism. Baltimore, 1983).

¹⁵ Четвериков С. С. // Журн. эксп. биол. Сер. А. 1926. Т. 2. Вып. 1. С. 3—54; Вып. 4. С. 237—240; Dobzhansky Th. Genetics and the Origin of Species. N. Y., 1937.

СТИЛЬ НАУЧНОГО

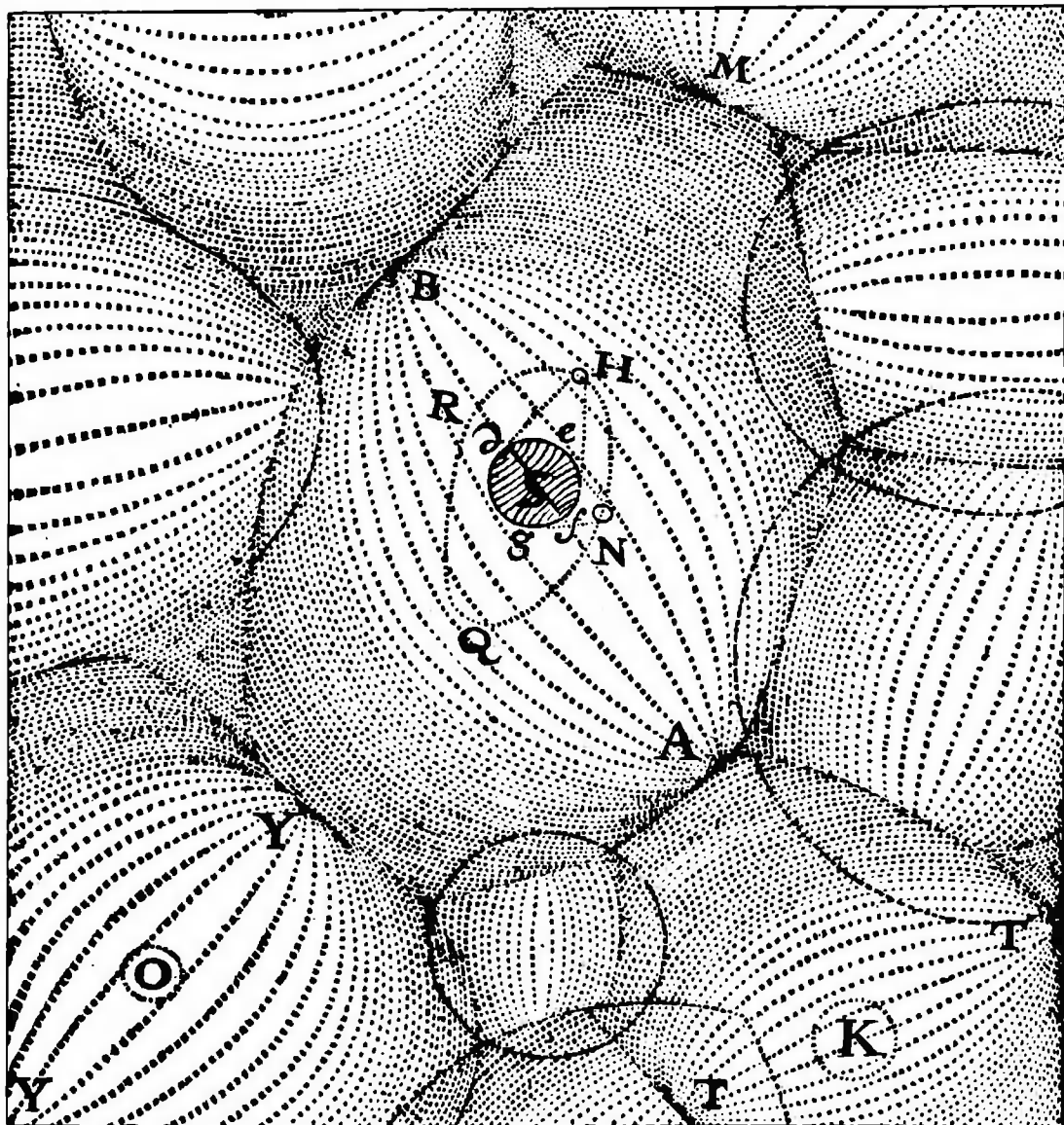


Иллюстрация к работе Р. Декарта «Начала философии» [1644]. По Декарту, пространство заполнено тонкой материей, закрученной в вихри, а причиной движения планет является их взаимодействие с вихрями. На рисунке показано, как декартовские вихри осуществляют движение планет вокруг Солнца.

МЫШЛЕНИЯ

А.С.Кравец

В СОВРЕМЕННОЙ философской литературе все более пристальное внимание привлекает понятие «стиль научного мышления». Это объясняется прежде всего той важной ролью, которую выполняет стиль мышления в научном познании.

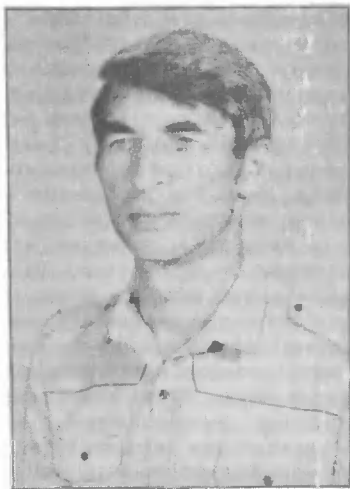
Наличие в науке своеобразных априорных установок, выступающих в качестве общезначимых канонов мышления, и их противоречивая роль осознавались в истории философии уже давно. Один из страстных защитников эмпирического естествознания Ф. Бэкон выступил в XVII в. с обличительной критикой «идолов» познания, под которыми он понимал устоявшиеся мнения, влияние авторитетов, абстракции — штампы, унаследованные от схоластического мышления и т. п.

Обостренный интерес к стилю научного мышления был стимулирован дискуссиями, развернувшимися вокруг понятия «парадигма», выдвинутого Т. Куном в его книге «Структура научных революций» (1962). Кун установил, что в период так называемого нормального развития науки ученые руководствуются достаточно консервативными установками или нормами научного исследования. Этот вывод шел вразрез с доминирующей на Западе точкой зрения К. Поппера, согласно которой развитие науки представляет собой непрерывную цепь критического опровержения теорий и выдвижения научных проблем.

Советские и зарубежные критики Куна отмечали весьма размытый и аморфный характер определения «парадигмы»; кроме того, их не удовлетворял психологизм и иррационализм выдвинутой им модели развития науки. Вместе с тем большинство ученых не могло не согласиться с утверждением Куна о том, что в науке действительно существуют общепринятые «образцы» знания, выполняющие регулятивную функцию. Даже наиболее рьяный критик всяких «рационалистических установок» в науке П. Фейерабенд вынужден был признать: «Догматизм представляет собой не просто факт, он выполняет также весьма важную функцию. Без него наука была бы невозможна»¹.

Однако в рамках западной философии науки так и не было дано удовлетворительного объяснения феномену «стиля мышления».

В отечественной литературе появилось уже значительное количество работ, в которых стиль научного мышления рассматривается в общем контексте с регулятивными нормами научного поиска, образом мыслей ученого, наиболее общими принципами мышления. Все чаще стиль мышления связывается с идеалами и нормами научного познания.



Александр Самуилович Кравец, доктор философских наук, профессор Воронежского государственного университета им. Ленинского комсомола. Специалист в области философских вопросов естествознания. Автор монографий: *Вероятность и системы*. Воронеж, 1970; *Природа вероятности*. М., 1976.

¹ Фейерабенд П. Избр. тр. по методологии науки. М., 1986. С. 454.

По своей сути стиль научного мышления представляет собой явление социокультурного плана. Он обусловлен культурными традициями и соответствующими социальными и идеологическими условиями развития науки. В своей непосредственной регулятивной функции научного познания он обнаруживает себя в логике научного мышления.

Существенное возрастание роли науки в современном обществе, открывающиеся возможности ее глобального влияния на судьбы планеты и человечества актуализировали исследования науки в ее связях с социокультурными процессами, а это чрезвычайно обострило и проблему стиля научного мышления. Следует отметить, что мы находимся пока лишь на начальной фазе изучения этого важного духовного феномена. Нет еще единства во взглядах на содержательные аспекты стиля научного мышления, его историческую периодизацию и типологию, недостаточно выявлены механизмы социокультурной обусловленности стиля, его роль на эволюционных и революционных этапах развития науки, связи стиля мышления с философией, методологией, мировоззрением. Вместе с тем становится все яснее, что понимание закономерностей научного творчества, роли критериев научности, соотношения консервативного и революционного в научном познании и ряда других проблем не может быть достигнуто вне связи с проблемой стиля мышления.

СТИЛЬ МЫШЛЕНИЯ КАК СИСТЕМА ОБЩЕНАУЧНЫХ НОРМ И ИДЕАЛОВ

Выявление содержательных элементов стиля мышления представляет определенные трудности. Конечно, большинство ученых связывают с научным мышлением такие требования, как ясность рассуждений, логическая строгость, обоснованность, подтверждаемость фактами и т. п. Но дело в том, что все эти атрибуты научного мышления имеют конкретно-историческую природу и существенно отличаются для различных эпох. Так, в глазах нынешних ученых и современников Н. Коперника нормы обоснования выглядят существенно различно. Возьмем, например, определение силы Леонардо да Винчи: «Я говорю, что сила есть духовная способность, незримая мощь, которая приводящим внешним усилием производится движением, которая поселяется и развивается в телах, выведенных и отклоненных от своего естественного состояния, давая им деятельную жизнь чудесной мощи.

Все возникшие вещи она понуждает к изменению формы и положения, бешено устремляется к своей желанной смерти и разнообразит себя соответственно причинам. Медленность делает ее большой, а быстрота слабой; она рождается насильственно и умирает свободно»².

Современный физик не сможет примириться с таким определением, которое антропоцентрично, метафорично и к тому же не имеет количественного статуса, однако в XV в. оно воспринималось как естественное, согласующееся с канонами теоретического мышления. Сличая научные тексты различных эпох, мы сразу обнаруживаем, что ученые в своих рассуждениях, обоснованиях, доказательствах придерживались различных канонических требований. Но помимо этой конкретно-исторической изменчивости обнаруживается и вторая особенность стиля мышления, делающая его почти неуловимым. В отличие от конкретных научных результатов, методов и теорий, которые явно сформулированы в научных работах, стиль мышления как бы «стоит» за текстом. Он существует в общественном мнении ученых соответствующей исторической эпохи в неявной форме, как система общезначимых предпочтений относительно допустимых в науке методов, теорий, доказательств. В этом плане он похож на моральные нормы, которые, несмотря на свой регулятивный характер в жизнедеятельности людей, все же не являются «писаными», в отличие от законодательных требований юридически-правовых норм.

Выступая в качестве ценностных ориентаций в науке, стиль мышления накладывает определенные ограничения на способ научного познания. Эти ограничения тотчас же проявляются, когда возникает дискуссия о научности или ненаучности каких-либо представлений. Достаточно показательны в этом плане обсуждения телепатии, биополя, непознанных летающих объектов и т. п.³

Стиль мышления выражает совокупность характерных для выделенного исторического этапа норм мышления, общепринятых представлений об идеальном научном знании и допустимых, «правильных», с точки зрения эпохи, способах получения этого знания. Стиль мышления выступает в качестве «неписаных» (но принимаемых большинством научного общества) норм и идеалов науки, он задает некоторые разре-

² Леонардо да Винчи. Избр. естественнонауч. произв. М., 1955. С. 96—97.

³ См., напр.: Волькенштейн М. В. О феноменах псевдонауки // Природа. 1983. № 11. С. 56—60; Жданов Ю. А. // Вopr. философии. 1986. № 6. С. 70—81.

шенные «образцы» знания. Для средневекового мышления таким образцом была «Метафизика» Аристотеля, для науки XVIII в. — «Математические начала натуральной философии» И. Ньютона, для XIX в. — аналитическая механика Ж. Лагранжа, для современной физики таким образом пока служит квантовая механика.

На формирование канонических требований к научному мышлению оказывают стимулирующее влияние прежде всего лидирующие научные направления, наиболее авторитетные научные школы, признанные авторитеты научной мысли. Однако такие требования становятся элементами стиля мышления только в случае их принятия большинством научного сообщества, если они воплощаются в устойчивую традицию научного исследования.

Выступая в качестве системы ценностных ориентаций в науке, стиль мышления определяет не столько содержание изучаемых проблем, сколько общую логику их постановки, обоснования и решения. Вместе с тем, учитывая неравномерный характер развития науки (наличие лидирующих направлений и аутсайдеров), ее дисциплинарную дифференцированность, можно отметить, что стиль мышления в сильной степени адаптирован к соответствующим сферам научного исследования. Так, например, до сих пор имеется существенное различие в стилях мышления представителей гуманитарных наук и естествознания. Можно согласиться с мыслью, что в целом стиль научного мышления имеет многоярусную структуру⁴. Верхнему ярусу соответствуют каноны научного мышления, разделяемые всеми представителями научного сообщества. Безусловно, они в значительной степени абстрактны и обладают большой гибкостью (вроде требований ясности, строгости и т. п.). Ниже располагаются каноны все более конкретизирующиеся и ужесточающиеся, соответственно специализации научного сообщества. Так, те требования, которые предъявляет математик к формализации теории, вряд ли полностью примет физик, возможно, отвергнет биолог, и абсолютно не поймет, что от него требуют, филолог.

Вопрос об элементах стиля, т. е. о его конкретно-исторических чертах, является весьма существенным для его понимания. Однако именно в этом вопросе имеется еще значительная неясность и расхождение мнений. Не претендуя на безусловность,

попытаемся все же вычленить его инвариантные (сохраняющиеся в историческом изменении) элементы. К ним можно отнести:

Онтологические канонические представления об объектах научного исследования. Они могут быть как чрезвычайно общими, так и более или менее конкретными в зависимости от исторических условий и дисциплинарной ориентации. Например, весьма общими представлениями, разделяемыми научным сообществом в различные исторические периоды, явились следующие воззрения на предмет науки: познается предустановленная гармония, наблюдаемые явления, сущность объектов и т. п. Эти представления дополнялись и более конкретными образами. Так, в классическом естествознании господствовала установка, что «наука — враг случайностей», и, следовательно, случайности не входили в предмет науки. В развитии физики можно выделить последовательно изменяющиеся стереотипы модельных представлений об объектах: для кеплеровско-ньютоновской науки — образ механических часов; в XIX в. была распространена гидродинамическая модель (непрерывные субстанции, флюиды, эфир и т. п.); для науки XX в. таким образом становится атомизм вплоть до его современных субэлементарных воплощений; в последнее время этот образ все в большей степени вытесняется моделью стохастического автомата.

Гносеологические нормы научного познания, т. е. «правильные», с точки зрения научного сообщества, методы исследования, способы объяснения и доказательства. Так, для Ньютона образцом научной теории, по-видимому, была геометрия, поэтому он излагает свою механику по образу и подобию геометрии: постулат (аксиома) — теорема — следствие. Этот образец был в свое время настолько распространен, что Спиноза применяет его для изложения своей «Этики». В физико-математических науках представление об идеальном методе впоследствии все более приближалось к образу математического алгоритма. Изменялись требования к строгости доказательств, которые в физике все в большей мере сводились к требованиям корректности математического аппарата, от эмпирических обоснований требовали все большей точности и «чистоты», репрезентативности, воспроизводимости, независимости от наблюдателя и т. п.

Прагматические нормы, накладываемые на способы «внешнего» оправдания научных представлений. Безусловно, чаще всего в качестве основного требования

⁴ Ильин В. В. // *Вопр. философии*. 1986. № 11. С. 67.

фигурировала претензия на истинность выдвигаемых научных концепций, однако поскольку таковая могла чаще всего подвергаться (или, наоборот, быть опровергнута) в будущем человеческой практикой, то в качестве критериев правомерности научных представлений выступали в исторической последовательности: соответствие общепринятым мнениям, авторитетам, логическая безупречность, соответствие наблюдаемому опыту, проверка в решающих экспериментах, соответствие фундаментальным положениям науки, простота и т. п. В настоящее время к научным теориям, особенно удаленным от сферы опыта или равноправным по отношению к эмпирическому базису, часто предъявляют требования новизны в освещении предмета, информативности, логической простоты, изящности и др.

ТРАДИЦИИ И НОВОВВЕДЕНИЯ

Формирование стиля мышления как компонента духовной культуры происходит сложными путями, где существенными подчас оказываются и непосредственно, и опосредованно связанные факторы. Познавательная деятельность формируется в рамках соответствующей культуры и сама является одной из важнейших ее подсистем.

Культура выражается в общественных, характерных для относительно целостных исторических эпох и регионов способах деятельности, производства и воспроизводства мира вещей, духовных образований, социальных институтов, включая и самого человека как общественного субъекта и продукта культуры. Характерной чертой культуры является следование традициям.

Традиция представляет собой «способ аккумуляции и трансляции коллективного опыта человеческой деятельности, выраженного в социальных стереотипах»⁵. В диалектике противоречивого взаимодействия традиций и нововведений фокусируется тайна рождения «нового» в культуре.

На основе существующих научных традиций, безусловно, обеспечивается преемственность и прогресс в развитии науки. Но господствующий стиль обеспечивает лишь эволюционное развитие науки и препятствует принятию кардинально новых, революционных идей, противоречащих этому стилю. В развитии науки неизбежно наступает этап исчерпания старого стиля или его отдельных элементов, когда они из идеалов познания

превращаются в тормозящих его «идолов». Революционный этап в науке подготавливается прежде всего коренными сдвигами в уровне общественной практики, обуславливается новым спектром общественных потребностей и возникновением новых материальных условий, обеспечивающих прорыв науки на новый уровень развития. В этих условиях и появляются нововведения — предтечи будущей новой науки. Однако их утверждение происходит в сложной и противоречивой борьбе с устаревшим стилем мышления.

Обратимся к генезису первого научного стиля мышления, связанного с зарождением и развитием классического естествознания. Социальные причины зарождения нового стиля мышления коренятся в глубоких социально-экономических сдвигах, охватывающих длительный исторический период, начиная с эпохи Возрождения и кончая установлением экономического господства буржуазии.

Интеллектуальная деятельность в это время сосредоточивалась преимущественно в сфере теологии и философии. Теологосхоластическая традиция продолжала оставаться основной и в эпоху Возрождения. В рамках этой традиции, имевшей корни еще в писаниях отцов церкви, занимались не столько посюсторонним чувственно-воспринимаемым миром, сколько потусторонним «градом божьим». Оторванные от реальности темы, догматическое мышление с опорой на авторитеты церкви, принижение роли человеческого разума по сравнению с божественной мудростью, запечатленной в «книге бытия», — все это было серьезным препятствием на пути возникновения науки. Существенными особенностями теологосхоластического мышления были провиденциализм и антропоморфизм: мир, сотворенный по божественному плану и движущийся к установленной цели, окрашивался в человечески-чувственные тона.

Однако приверженцы теологосхоластической традиции не представляли собой монолитный лагерь единомышленников, внутри него постоянно возникали острые столкновения с инакомыслящими. Наиболее чувствительный удар по ортодоксам нанесла Реформация. Ослабление силы веками освященных авторитетов, появление внутри самого лагеря теологов инакомыслия расчищало дорогу к самостоятельному мнению ученого.

Второй интеллектуальной традицией был гуманизм, возродивший античную мудрость. На первый взгляд, эта традиция уводила ученых в сторону от исследования

⁵ Касавин И. Т. // Там же. 1985. № 11. С. 52.

природы и оказала мало влияния на становление науки. Однако она сыграла важную роль в развитии всей европейской культуры. Крупный исследователь ренессансного гуманизма Л. М. Баткин оценивает его роль как «переходную»: гуманизм зародился на границе соединения двух исторических эпох — средневековья и нового времени и выражал сущность этого перехода от средневековой христианской культуры к культуре новоевропейского типа⁶.

Характерной чертой мышления гуманистов было благоговение перед словом. Оно существенно отличалось от теологосхоластического, ибо для гуманистов слово — не отвлеченная универсалия схоластов, а носитель культуры и высшей мудрости. Гуманисты стремились преодолеть разрыв между миром теологии и жизненными (прежде всего нравственно-художественными) интересами личности. Своими переводами древних книг, диспутами, посланиями, беседами, всем стилем жизни они создавали культ знания, враждебный теологосхоластической традиции. Однако эта устремленность к знанию была совершенно лишена какого-либо практического смысла и имела значение лишь в интеллектуальной деятельности самой по себе.

Третьей интеллектуальной традицией, которую не всегда отделяют от гуманизма, но которая имеет свой самостоятельный статус, является прагматический универсализм. Представителями этой традиции были Ф. Брунеллески, Л. Альберти, Леонардо да Винчи, А. Дюрер и др. Своеобразие этого направления было обусловлено прежде всего практическими потребностями развивающейся городской культуры, в центре которой стоял художник (одновременно и живописец, и скульптор, и архитектор, и градостроитель).

Прагматический универсализм ориентировался на опытное знание. Однако эта установка еще далеко отстоит от понимания роли эксперимента в науке нового времени. Опыт у представителей этого направления трактуется прежде всего как способность видеть глазом гармонию, простые соотношения в явлениях. Такой опыт был очень ненадежным союзником в познании природы.

Большим влиянием пользовалась и четвертая — герметическая традиция⁷, которая

представляла собой синтез греческих и восточных религиозно-философских представлений об одухотворенности космоса в целом и его отдельных проявлений, отсутствии резкой грани между духовным и материальным, способности вещей и человека к различным метаморфозам и совершенствованию, возможности воздействия духовного на материальное и т. д.

Для стиля мышления герметистов характерен ряд особенностей. Прежде всего они резко противопоставили себя цеховой науке и вследствие этого пытались ниспровергнуть все авторитеты. Подлинное значение герметизма для становления новой науки сказалось в первую очередь в том, что он подрывал и ослаблял основную теологосхоластическую традицию.

Все четыре традиции взаимодействовали между собой, создавая неоднородную, многомерную интеллектуальную среду. Каждая из них, взятая сама по себе, не могла дать ростки новой науки. Слишком сильными были интеллектуальные барьеры внутри каждой из них. Однако в столкновении противоположных мыслительных потоков, в действии их наперекор друг другу, эти барьеры преодолевались и размыкались. Борьба традиций могла лишь ослабить каждую из них, породить интеллектуальный кризис, в условиях которого можно было свободно присоединяться к любой из них. Но сам кризис еще не порождал ничего нового. Возникновение нового предполагает в качестве необходимой составной части отказ от старого, но в еще большей степени оно нуждается в затравочных элементах, несущих в себе прообраз будущего.

Как же зарождались и утверждались эти элементы, приведшие к новому научному стилю мышления? Ответить на этот вопрос непросто, поскольку в историческом генезисе новой науки прочно сцеплены старое и новое. Эта наука, по общему мнению, начинается с Коперника. Однако именно в его творчестве старое и новое переплелись в причудливые формы. Революционный вклад Коперника состоял прежде всего в создании новой космологии, ниспровергающей веками освященную геоцентри-

вестник богов, проводник душ умерших. В поздней античности возник образ Гермеса Трисмегиста (трижды величайшего) — посредника между посюсторонним и потусторонним миром. Раньше его считали также автором «Герметического корпуса» — книги, в которой излагаются оккультные науки (в настоящее время большинство специалистов склоняются к тому, что эта книга вообрала в себя сочинения анонимных авторов II—III вв. н. э.). Слово «герметический» указывает также на тайный, закрытый, доступный только посвященным, характер сочинения.

⁶ См.: Баткин Л. М. Итальянские гуманисты: стиль жизни и стиль мышления. М., 1978.

⁷ Происхождение термина связано с именем греческого бога Гермеса. В греческой мифологии Гермес —

ческую систему мира, в перевороте пространственной иерархии мира, в котором «старая периферия» — Солнце — становилась отныне центром мира.

Чтобы решиться на такой шаг, необходимо было представить веские для своего времени обоснования. Коперник ищет авторитетную «защиту» и находит ее у античных авторов. Решающих экспериментальных фактов в защиту гелиоцентрической системы еще не было, и Коперник выстраивает сложную систему доказательств, где геометрические рассуждения в духе неоплатонизма тесно переплетаются с аристотелевой физикой и теологическими схемами мысли. Другими словами, Коперник опирается в своих рассуждениях на традиционное мышление, искусно пользуясь старым интеллектуальным оружием, чтобы прийти к новым выводам.

Дело Коперника продолжил И. Кеплер, чьи заслуги в космологии чрезвычайно велики. Однако ему не удалось выйти за пределы средневекового стиля мышления. В творчестве Кеплера отразились, кажется, все средневековые традиции.

Человеком, смело выдвигавшим новые принципы научного познания, стал Г. Галилей. Огромная заслуга Галилея состояла прежде всего в том, что он решительно порвал с аристотелевой физикой. И до Галилея многие блестящие умы выступали с критикой Аристотеля, но то была критика в рамках той же самой старой логики мышления. Галилей же по существу создает новую логику научного мышления, обосновывает нормы подлинной науки: «Только Галилей в основных, определивших будущее нововведений своего исследовательского и диалектического метода смел отбросить традиции, все ученые предшественники лишь объявляли ей борьбу, на деле подчиняясь ей»⁸.

Курс на экспериментальное изучение природы и математизацию физики с блеском продолжил И. Ньютон. Главная заслуга Ньютона в том, что он задал «образец» построения научной теории, ставшей на протяжении нескольких веков идеалом научного знания: «Возникла "классическая физика" по образу и подобию "Начал"»⁹. Его механику, изложенную в «Началах», С. И. Вавилов справедливо называет «физикой принципов».

Анализ становления классического естествознания вскрывает интересные особен-

ности возникновения и развития принципиально новых идей в науке. Несмотря на серьезный кризис укоренившегося способа мышления, такие идеи, как правило, еще долго не могут обрести самостоятельного и полноправного статуса в силу неприятия их значительной частью научного сообщества, воспитанного на старых традициях. Поэтому элементы, вводимые основателями нового естествознания, на первых порах одевались в «старые одежды», камуфлировались под старые традиции¹⁰. Особенно характерно это для Коперника и Кеплера. Второй тактический способ «маскировки» нововведений состоит в том, что они принимаются на правах искусственного приема или временной меры, не претендующей якобы на подрыв укоренившегося способа мышления. Характерно в этом отношении истолкование новой астрономии как вспомогательного математического приема для вычисления планетных орбит, данное в предисловии к основному труду Коперника богословом А. Осандером. Наконец, новые идеи могут вводиться на компромиссных основаниях, примиряющих старый и новый типы мышления. В этом плане показательна защита основателями нового естествознания концепции двойственной истины, развязывающей естествоиспытателям руки в относительно автономном исследовании природы.

Эти три тактических приема введения новых идей в обход старого стиля мышления характерны и для последующих реформ стиля мышления. Так, первоначально вероятностно-статистические методы оценивались лишь как искусственный прием, и лишь новый неклассический стиль мышления, утвердившийся в XX в., произвел их переоценку. Идея квантов, положившая начало революции в физике, также первоначально воспринималась как искусственный вычислительный прием.

Однако постепенно, по мере создания и упрочения основ новой науки, становится все очевиднее, что любые искусственные приемы представляют довольно шаткую и ненадежную опору для новых революционных идей. Поэтому в ходе развития новых фундаментальных теорий отбрасывались искусственные «костыли», и научное сообщество производило переоценку ценностей; исходя из присущих новой науке принципов вырисовывался новый стиль мышления, соответствующий качественно новому уровню развития науки.

⁸ О л ь ш к и Л. История научной литературы на новых языках. Т. 2. М.; Л., 1984. С. 5.

⁹ В а в и л о в С. И. Исаак Ньютон. М., 1981. С. 10.

¹⁰ См., напр.: И л ь и н В. В. Цит. соч. С. 70.

КАНАЛЫ СОЦИАЛИЗАЦИИ

Далеко не всякое нововведение становится элементом стиля научного мышления. Для этого оно должно быть поддержано новой традицией в практике научного исследования. Однако формирование новых традиций не может быть результатом только спонтанной интеллектуальной перестройки мышления и тем более не объясняется естественным вымиранием ортодоксов, как об этом иногда пишут. Перестройка в стиле мышления нуждается в соответствующих материальных и организационных подкреплениях. Закрепление нормативных нововведений в общественном сознании осуществляется через каналы социализации, среди которых важнейшая роль принадлежит созданию научных учреждений, системы образования и средств научной коммуникации.

Так, решающим шагом в оформлении социального статуса науки было учреждение Лондонского королевского общества (1660) и Королевской академии наук в Париже (1666). Основание этих научных учреждений положило начало институтам, определявшим научные нормы и осуществлявшим контроль над их соблюдением.

Дальнейшее развитие организационных форм развития науки связано с реформой университетского образования в европейских странах в XIX в., когда основной функцией университетов стали считать подготовку научно-исследовательских кадров. Затем появляются научные школы, научно-исследовательские институты и в настоящее время — научно-производственные объединения. С установлением институтов науки возникает система поддержки одних научных работ и критики других, их градация по престижности и значимости, общественному признанию и т. п. Все это ведет к санкционированию определенных норм и идеалов науки, их социальному признанию.

Система образования канонизирует те или иные нормы и идеалы науки. Через подготовку научных кадров происходит воспроизводство обязательных, общезначимых атрибутов стиля мышления. Система аттеста-

ции научных кадров, предъявляя определенные требования к квалификации ученого, закрепляет необходимые, с точки зрения научного сообщества, идеалы и нормы познания.

По каналам коммуникации происходит тиражирование и распространение в научном сообществе элементов стиля мышления. Скажем, редакции научных журналов, как правило, придерживаются весьма жестких требований относительно допустимых способов объяснения и решения научных проблем.

Таким образом, развитие стиля научного мышления определено сложной системой социокультурных факторов, среди которых важнейшую роль играют социально-экономические сдвиги в развитии общества, борьба традиций и нововведений в науке, каналы социализации этих нововведений.

После формирования стиля мышления нового времени, последующие изменения стиля научного мышления не были столь кардинальными, хотя отдельные его элементы претерпевали коренные преобразования. Неклассический стиль мышления, сложившийся в науке XX в., опирался уже на борьбу внутринаучных (классических) традиций и нововведений. Этот стиль мышления не отбросил, однако, всех элементов старого классического мышления, а наоборот, некоторые из них укрепил и развил глубже. К ним относятся установки на научный эксперимент, математизацию науки и другие. Вместе с тем он внес и новые элементы, такие как признание вероятностно-статистических методов исследования, фундаментальной роли случайности, правомерности неклассических (квантовых) образов объекта вплоть до весьма экзотических моделей: виртуальные частицы, кварки и т. п.

Этот процесс развития неклассического стиля мышления характерен и для современной науки, являющейся стержнем научно-технической революции. На наших глазах происходит глубокая перестройка в организации науки и методах научного исследования, которая ведет, в конечном счете, к новому стилю мышления.



БИОСФЕРНЫЕ ЗАПОВЕДНИКИ:



Биосферные заповедники мира (вверху).
Биосферные заповедники СССР, отдельные и объединенные в кластеры.

ЦЕЛИ И ПРОБЛЕМЫ

В.Е. Соколов, Ю.Г. Пузаченко, П.Д. Гунин, К.Д. Зыков



Владимир Евгеньевич Соколов (второй слева), академик, академик-секретарь Отделения общей биологии АН СССР, директор Института эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова АН СССР, заведующий кафедрой зоологии позвоночных биологического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Вице-президент Международного координационного совета и председатель Советского комитета программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера», член Бюро Международной ассоциации экологов, президент Всесоюзного териологического общества. Основные труды посвящены зоологии млекопитающих, экологии, проблемам общей биологии и охраны природы. Член редколлегии журнала «Природа».

Юрий Георгиевич Пузаченко (первый справа), доктор географических наук, заведующий лабораторией общей экологии и биогеоценологии им. В. Н. Сукачева того же института. Занимается вопросами географии, биогеографии, общими проблемами экологии, в том числе планированием и размещением охраняемых территорий.

Петр Дмитриевич Гунин (первый слева), кандидат географических наук, старший научный сотрудник того же института. Специалист в области биогеоценологии аридных зон.

Кирилл Дмитриевич Зыков, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник того же института. Научные интересы связаны с общими проблемами охраны природы, заповедного дела и образования по вопросам окружающей среды.

В 1975 г. по инициативе Организации Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО) в рамках Международной программы «Человек и биосфера» начали создаваться первые биосферные заповедники. Они оказались в фокусе интересов целого ряда международных организаций, деятельность которых связана с вопросами охраны природы и устойчивого социально-экономического развития. Помимо ЮНЕСКО в их появлении на свет сыграли большую роль ФАО — Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН, Программа ООН по окружающей среде (ЮНЕП), Международный союз охраны природы и природных ресурсов (МСОП) и др.

На базе отдельных биосферных заповедников и всей их сети каждая из этих организаций решает свои специфические задачи и принимает участие в формировании и «жизнедеятельности» международной сети биосферных заповедников. ФАО заинтересована в сохранении генетических ресурсов *in situ*, особенно диких родственных видов культурных растений, древесных пород, а также предков и близких родственников домашних животных; ЮНЕП — в охране природы в целом и в осуществлении экологического мониторинга; МСОП — в охране редких и исчезающих видов животных и растений, а также экосистем, и в последнее время — в региональном планировании, сочетающем охрану природы с устойчивым развитием.

Уже одно перечисление заинтересованных международных организаций свидетельствует о громадной роли биосферных заповедников в сохранении природы и окружающей среды, условий для выживания и развития человечества.

За 10 лет после организации первых биосферных заповедников их число выросло до 243, вместе с этим увеличилось и количество проблем, стоящих перед ними. Рассмотрим основные цели и проблемы этих заповедников.

ФОРМИРОВАНИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О БИОСФЕРНЫХ ЗАПОВЕДНИКАХ

Один из проектов программы «Человек и биосфера» был ориентирован на сохранение типичных экосистем разных биогеографических зон, генетического разнообразия нашей планеты. Для биосферных заповедников эта функция стала первой. Чтобы ее выполнить, понадобилось отобрать некоторое количество наиболее репрезентативных, представительных, уже охраняемых территорий, где охрана экосистем была бы сопряжена с долгосрочными научными исследованиями. Такие территории и выбрали своеобразный международный статус биосферных заповедников, а научные исследования стали их второй функцией. Затем возникла необходимость включить в число функций слежение за фоновым состоянием биосферы, т. е. экологический мониторинг. Наконец, поскольку деятельность биосферных заповедников подчинена международной программе, их четвертой функцией стало экологическое образование, международное научное сотрудничество.

Функции заповедников сформировались, и тут же возникли проблемы. По какому принципу выбирать территорию, как понимать ее репрезентативность? Ведь любая охраняемая территория в той или иной степени репрезентативна, т. е. отражает некоторые особенности процессов в биосфере. Какой же из них придать статус биосферного заповедника? На первый взгляд задача выбора территории представляется чисто теоретической, но на самом деле она оказалась сугубо практической.

Совершенно очевидно, что функции биосферных заповедников шире, чем функции охраняемых природных территорий любого иного типа. Они служат своеобразными международными стандартами, эталонами окружающей среды. Если учесть, что информация о результатах мониторинга должна передаваться в международный центр (пока не существующий) и активно использоваться для оценки фонового состояния биосферы Земли, станет понятно, насколько важен и ответствен правильный выбор территории. Эта проблема выбора оказалась столь запутанной, что некоторые

страны, например Скандинавские, вообще не усмотрели особого смысла в создании биосферных заповедников.

В нашей стране мнения о целесообразности создания биосферных заповедников тоже не отличались единством. Некоторые специалисты вполне обоснованно доказывали, что при отсутствии четких критериев «биосферности» дело сводится лишь к названию и отвлекает от действительно актуальных задач развития сети охраняемых территорий.

Неопределенность критериев выбора привела к тому, что уже существующая сеть заповедников, причисленных к рангу биосферных, не представляет той совокупности, в которой разнообразие жизни и биосферных процессов наибольшее. Многим идея биосферных заповедников казалась здоровой, но с теоретических позиций она не была разработана. Результат этого — крайняя неравномерность международной сети: явная избыточность биосферных заповедников в одних регионах и недостаток в других.

По сути дела, неопределенность в выборе наиболее репрезентативной территории свидетельствует, что существующие представления о структурно-функциональной организации биосферы весьма туманны. А если так, то нет должных оснований для моделирования биосферных процессов. Конечно, мы можем построить любые математические модели и получить какие-то прогнозы. Однако верить этим прогнозам можно только в том случае, если модель достаточно адекватна реальности. Но именно адекватности и не хватает биосферным моделям: ведь мы не можем надежно обосновать размещение в пространстве элементов системы наблюдений, а стало быть, и не обеспечиваем модели исходной информацией.

Вторая проблема — зонирование территории биосферного заповедника — несведущему человеку может показаться довольно легкой, не требующей особых размышлений. Но в действительности она весьма серьезна. Дело в том, что четыре утвержденные международными организациями функции биосферных заповедников во многом противоречат друг другу. Сохранение разнообразия экосистем и генофонда требует строгого режима охраны, минимального вмешательства человека в природные процессы на достаточно большой площади, где все элементы экосистемы способны к самоподдержанию. Но научные исследования не мыслимы без эксперимента, а эксперимент неизбежно приводит к нарушениям естественного течения процессов. Строгому ре-

жиму охраны противоречит и экологическое образование, поскольку оно связано с присутствием большого количества людей на территории биосферного заповедника.

Эта противоречивость основных функций привела к мысли зонировать территории, выделить в заповедниках ядро, которое полностью отвечало бы целям охраны, и буферную зону, где допустимы научные исследования, а также мероприятия, связанные с экологическим образованием. Поскольку научные исследования должны быть проверены на практике, связанной с воздействием на природу (например, экспериментальная рубка лесов), в буферной зоне формально необходимо разрешить и ограниченную хозяйственную деятельность.

Во всем мире строго охраняемые территории типа заповедников всегда нуждались в жестких мерах защиты. Международный статус биосферных заповедников требует одновременно и ужесточения охраны, и контроля за хозяйственной деятельностью в прилегающих районах. Организация биосферных заповедников во многих странах вызвала конфликты с местным населением, цели которого противоречат охране, а контроль часто воспринимается как нежелательное вмешательство. Необходимость безоговорочного сохранения разнообразия природы конкретной территории сталкивается с прагматическими целями, с ее традиционным хозяйственным использованием.

В нашей стране зонирование территории биосферных заповедников специалисты не поддерживали. Это связано с тем, что в число первых биосферных были включены отечественные заповедники со сложившимся жестким режимом охраны на всей их территории, и любое изменение такого статуса было неприемлемо. Понять причины такой бескомпромиссности можно, обратившись к истории заповедного дела в нашей стране, истории полной трагических страданий, раскрытой в книге старейшего знатока заповедного дела А. М. Краснитского¹.

Сохранение природных эталонов, самовосстановительного потенциала, генофонда, вечная неприкосновенность территории заповедников были определены декретами 1920—1924 гг. и закреплены в постановлении ВЦИК и СНК от 31 октября 1925 г. Постепенно, под давлением прагматизма природоохранные идеи теряли свои первоначальные принципы: в последующих до-

кументах сначала исчезло положение о вечной неприкосновенности территорий заповедников, стало теоретически обосновываться их ограниченное использование, акклиматизация в заповедниках хозяйственно полезных видов и т. п. Однако сеть заповедников продолжала развиваться, они эффективно выполняли природоохранные функции, вносили существенный вклад в развитие науки и в решение задач рационального использования природных ресурсов. К 1950 г. в СССР было 128 заповедников, их общая площадь составляла 0,56 % от территории страны.

В 1951 г. прагматические течения полностью возобладали. Исходя из демагогических представлений о полной рациональности отечественного хозяйствования, при которой, якобы, нет никакой необходимости в жесткой охране, а важно лишь использовать все ресурсы на благо народа, противники заповедного дела смогли провести решение о фактически полном разрушении всего созданного. За один год число заповедников было сокращено до 40, а их общая площадь до 0,05 % от территории страны. В результате ценнейшие объекты природы, особенно в густонаселенных районах (например, заповедник Тульские засеки, Верхне-Клязьминский заповедник в Московской области и многие другие), фактически

Природные заповедники СССР (по Краснитскому А. М., с. 35, с дополнениями)

Год	Число заповедников	Площадь, млн га	% от территории СССР
1924	6		
1930	40	7,0	
1938	43	6,7	
1950	128	12,5	0,56
1951	40	1,5	0,05
1952	40	1,4	0,06
1953	39		
1957	52	1,5	0,06
1960	85	6,3	0,28
1964	66	4,3	0,19
1966	76		
1968	88	6,5	0,28
1969	86	6,8	0,3
1974	97	7,5	0,35
1976	112	более 9	более 0,4
1982	142	11,5	0,51
1983	146	11,7	0,52
1984	150	12,8	0,57
1985	153	14,1	0,62
1986	159	16,9	0,75

¹ Краснитский А. М. Проблемы заповедного дела. М., 1983.





Аборигены Репетекского биосферного заповедника: среднеазиатская черепаха, саксул, зеленая жаба, большая песчанка.



были уничтожены. Погибли ценнейшие архивы упраздненных заповедников с многолетними наблюдениями за природными процессами. Абсурдность таких действий стала очевидна уже через несколько лет.

С большими трудностями сеть заповедников стала восстанавливаться, однако на это потребовалось более 30 лет. Довоенной суммарной площади охраняемые территории достигли только к середине 80-х годов, но и по сей день не восстановлены прежние природоохранные законодательства, в том числе закон неприкосновенности заповедных земель. По-видимому, никогда не удастся определить, сколь велик вред, нанесенный охране природы в нашей стране уничтожением большей части заповедников. Многолетние наблюдения за природными процессами, которые в них имелись, сейчас представили бы не только экологическую, но и прямую экономическую ценность. Они позволили бы рассчитать, каким было нормальное состояние окружающей среды, чтобы принять правильные практические решения, позволили бы установить, как шли естественные процессы, оценить изменения, которые вносит хозяйственная деятельность. Эти наблюдения уникальны и для нашей страны, и для всего мира. Утерев значительную часть зафиксированных в архивах заповедников данных, мы с большим трудом решаем нынешние практические задачи экологического нормирования, экологической экспертизы и прогноза.

Экспансия хозяйственников на территории существующих заповедников не прекращается и по сей день. Отсутствие закона о полной неприкосновенности заповедных территорий создает условия для множества нарушений: в Висимском заповеднике (Средний Урал) построено водохранилище для питьевой воды, через территорию Уссурийского заповедника планируется провести водовод, в непосредственной близости от Приокско-Террасного биосферного заповедника намечалось строительство мощного водозабора подземных вод (с огромным трудом это решение удалось временно отсрочить, но небольшой водозабор все-таки пущен), через Черноморский биосферный заповедник проведены коллекторы мелиоративных систем, биосферный заповедник Аскания-Нова подтоплен и т. д. Находятся ученые, которые научно доказывают, что те или иные формы хозяйственной деятельности не изменяют природу биосферных заповедников, проектировщики приводят астрономические цифры ущерба, который, мол, повлечет за собой отказ от этих хозяйственных действий.

Те, кто осознает ценность для будущего сведений, собираемых в неизменных условиях на территории биосферных заповедников, не могут привести строгих экономических расчетов. Их просто не может существовать хотя бы потому, что неизвестны стоимостные отношения в конце следующего века. Но подобные доводы сплошь и рядом рассматриваются как идеалистические, научно необоснованные. Поэтому экологическое мышление пока чаще всего терпит поражение в столкновениях с прагматиками.

Именно в силу этого советские специалисты заповедного дела всеми способами пытаются закрыть любые пути проникновения хозяйственной деятельности в заповедники, в том числе биосферные, поэтому отвергают необходимость зонирования их территорий. С наших позиций, заповедник есть неприкосновенная территория, не подлежащая никакому зонированию, в нем допустима лишь строго регламентированная научно-исследовательская работа с применением методов, не влияющих на течение естественных процессов. Буферная, или, иначе, охранный зона, должна организовываться за счет прилегающих земель. Но беда в том, что эти земли находятся в ведении других землепользователей, и потому при создании охранных зон возникают проблемы, которые разрешаются с большим трудом.

Мы уже указывали, что существует противоречие между строгой охраной и интересами местного населения и хозяйства и что в той или иной степени оно свойственно разным странам. Естественный путь смягчить эти противоречия — использовать результаты научных исследований непосредственно в хозяйственной деятельности данного региона, экологическим образовывать население, привлекать его к решению проблем охраны собственной окружающей среды. Поэтому и возникла мысль увеличить роль биосферных заповедников в практическом природопользовании, перенести их научную активность на территории, где ведется хозяйство. Это не компромисс между экологическим мышлением и прагматизмом, а необходимое условие для разработки концепций и технологий, позволяющих согласовать хозяйственное и социальное развитие с сохранением природных ценностей. Вполне понятно, что и само зонирование, и отношения между природоохранной и хозяйственной деятельностью должны быть законодательно обоснованы, заповедники должны иметь развитую материально-техническую и научную базу.

Итак, казалось бы, чисто техническая проблема зонирования биосферного

заповедника отражает сложность отношений между различными общественными целями, между экологическим и прагматическим мышлением, показывает, как трудно достигнуть равновесия в отношениях между природой и обществом. Биосферные заповедники и связанные с ними регионы становятся объектами своеобразного экологического и социального эксперимента, поэтому понятно, что идея биосферных заповедников получила фактически всемирное признание, а проект, посвященный им, стал ведущим в программе ЮНЕСКО «Человек и биосфера».

БИОСФЕРНЫЕ ЗАПОВЕДНИКИ СЕГОДНЯ И ЗАВТРА

Обсуждение проблем биосферных заповедников состоялось на Первом Международном конгрессе по биосферным заповедникам, созданном по инициативе СССР в Минске в 1983 г. На конгрессе было оценено современное состояние, определено будущее направление развития биосферных заповедников, представлены обоснования критериев выбора их территории и развития их сети, обсуждены принципы сохранения генофонда, организации научных исследований, экологического мониторинга и образования, проблемы взаимодействия заповедников с местным населением и вопросы их влияния на рациональное использование природных ресурсов.

На конгрессе выяснилось, что, несмотря на различия в экономических и социальных отношениях, в традициях охраны природы, различном уровне развития науки и ее материально-технического обеспечения, ситуация очень сходна во всех странах мира. Концепция биосферных заповедников находится лишь на первом этапе развития, на котором неопределенность целей и методов очень велика, а эмпирический подход и поиск преобладают над строгими непротиворечивыми действиями.

Традиционно, как в среде наших ученых, так и за рубежом, размещение заповедников привязывалось к участкам типичных ландшафтов отдельных биогеографических провинций. В то же время фактически заповедники и другие охраняемые территории чаще организовывались в менее освоенных и более «богатых» угодьях в периферийных участках административных и природных единиц районирования. Основываясь на теоретическом багаже, имеющемся в науках о Земле, советские ученые предложили концепцию, которая создает

базу для решения проблемы выбора территории заповедников. Сходную по сути задачу решал Н. И. Вавилов. Разработав теорию центров происхождения культурных растений, наибольшего генетического разнообразия их диких предков, он собрал огромную часть их мирового генофонда за ничтожное время и при ничтожных затратах.

Обосновывая географическое положение этих центров, Вавилов исходил из того, что наибольшее разнообразие видов растений можно найти там, где всего разнообразней природная среда, — на климатических, орографических и геологических рубежах. Следовательно, если биосферные заповедники должны обеспечить сохранение мирового генофонда и разнообразия экосистем, их также надо располагать именно на этих рубежах. В таких точках планеты существуют и наилучшие условия для организации научных исследований и мониторинга, в них наименьшая вероятность возникновения острых конфликтов между охраной природы и использованием ее ресурсов, так как при высоком разнообразии условий хозяйственная деятельность экономически малоэффективна. Правда, здесь могут возникнуть конфликты с горнодобывающей промышленностью и использованием гидрологических ресурсов, так как их местонахождения приурочены к крупным тектоническим и геологическим рубежам.

Может быть, и без учета вавиловских идей создавались существующие во всем мире охраняемые территории, но большая их часть приходится именно на географические рубежи. Ставя перед собой цели охраны генетического разнообразия и разнообразия экосистем, мы не могли сделать иного выбора. Применив принятую в советской географии концепцию пространственно-временной иерархичности в организации биосферы, обосновывающую ранг географических рубежей, можно более точно определить такие территории, в которых, как в фокусе, отражаются глобальные, а не локальные и региональные процессы и отношения, наметить зоны, в которых сосредоточена существенная часть генетического разнообразия биосферы.

Анализ деятельности советских биосферных заповедников, организации в них научных исследований и длительного слежения за состоянием экосистем и их компонентов позволил предложить пути дальнейшего развития этих заповедников. Возникло представление о биосферном регионе, включающем собственно заповедник и генетически связанные с ним территории со сложившейся системой хозяйства. В таком

регионе можно вести сравнительные исследования в естественных и измененных условиях, применять результаты научных исследований в практической деятельности. Этот подход начал реализовываться на основе научного сотрудничества Приокско-Террасного биосферного заповедника и Научного биологического центра в Пущине-на-Оке, Центрально-Черноземного биосферного заповедника и Института географии АН СССР, Сихотэ-Алинского биосферного заповедника и Тихоокеанского института географии ДВО АН СССР.

На конгрессе выяснилось также, что сходных с нашими взглядов на функции биосферных заповедников придерживаются и специалисты других стран, пришедших к аналогичным выводам и рекомендациям на основе собственного опыта. В результате был выработан План действий биосферных заповедников, включающий основные определения и понятия, цели, первоочередные задачи и направления.

План состоит из трех пунктов: совершенствование и расширение сети биосферных заповедников; разработка системы основных знаний для охраны экосистем и биологического многообразия; повышение эффективности биосферных заповедников с точки зрения увязки целей охраны природы и развития. Международные интересы отражены в девяти основных целях и связанных с ними мероприятиях: развитие международной сети, управление биосферным заповедником, охрана природы в заповеднике, организация исследований и мониторинга, участие в региональном планировании и планировании действий местного населения, организация на базе биосферных заповедников образования, обучения и международной кооперации.

В официальном тексте Плана действий даны характеристики биосферных заповедников², приведем их перечень.

Биосферные заповедники являются охраняемыми зонами репрезентативной наземной и прибрежной окружающей среды, которые получили международное признание по причине их значения для охраны природы и обеспечения научных знаний, профессиональных навыков и человеческих ценностей для поддержки устойчивого развития.

Биосферные заповедники объединены между собой и образуют всемирную сеть, которая способствует обмену информацией,

² Международный координационный совет Программы «Человек и биосфера» (МАВ). Восьмая сессия. Заключительный доклад. Париж, 1984. С. 36, 37.



В Кавказском биосферном заповеднике. Река Мзымба, метеостанция на Красной поляне, егерский обход на одном из кордонов.



В Сихотэ-Алинском биосферном заповеднике: редкий вид — короткопалый ястреб — и обычное для заповедника животное — изюбр.



касающейся охраны природы и управления природными и искусственными экосистемами.

Каждый биосферный заповедник включает представительные образцы природных и минимально нарушенных экосистем (основные зоны, ядра) в рамках каждой биогеографической зоны мира и, по возможности, наибольшее число следующих типов территорий: 1) центры эндемизма и генетического богатства или уникальные природные объекты, представляющие исключительный научный интерес [которые могут быть частью основной зоны или занимать всю ее]; 2) зоны, пригодные для экспериментального исследования, оценки и демонстрации методов устойчивого развития; 3) образцы гармоничных ландшафтов, возникших в результате применения традиционных методов землепользования; 4) образцы измененных или деградировавших экосистем, которые пригодны для восстановления до природного или почти природного уровня [совместно эти различные виды зон обеспечивают основу для выполнения научных и хозяйственных функций биосферных заповедников].

Каждый биосферный заповедник должен иметь достаточные размеры, чтобы он мог служить эффективной единицей охраны природы и представлять ценность в качестве

исходного пункта для определения долгосрочных изменений биосферы.

Биосферные заповедники должны обеспечивать возможности экологических исследований, образования, показательных мероприятий и учебной подготовки.

«Буферная зона» может состоять из любой комбинации или нескольких комбинаций зон, пригодных или используемых для проведения исследований. Кроме того, «буферная зона» может также включать большую территорию, границы которой могут быть не обозначены, но в которой предпринимаются усилия для разработки совместных мероприятий, обеспечивающих совместимость методов хозяйствования с функциями охраны природы и проведения исследований в других зонах заповедника. В этой зоне многоцелевого использования могут проводиться разнообразные сельскохозяйственные мероприятия, осуществляться другие виды деятельности и иметься населенные пункты.

Биосферные заповедники должны пользоваться надлежащей долгосрочной законодательной, регламентирующей или институциональной защитой. Биосферные заповедники могут совпадать с имеющимися или предполагаемыми охраняемыми зонами, такими как национальные парки или охраняемые зоны исследований, или включать их в себя. Это объясняется тем, что некоторые из таких охраняемых зон часто служат наилучшими примерами неизмененного природного ландшафта или представляют собой подходящие зоны для выполнения различных функций биосферных заповедников.

Люди должны считаться частью биосферных заповедников. Люди являются существенно необходимым компонентом ландшафта, и их деятельность имеет основополагающий характер для его долгосрочного сохранения и надлежащего использования. Люди и их деятельность не исключаются из биосферного заповедника; скорее они поощряются к участию в управлении им, и это обеспечивает более широкое социальное одобрение мероприятий по охране природы.

Обычно после объявления зоны биосферным заповедником не возникает необходимости в изменении форм землевладения или правил, касающихся земельных участков, за исключением тех случаев, когда изменения необходимы для обеспечения строгой защиты основной зоны или конкретных районов проведения исследований.

Очевидно, что перечисленные характеристики в полной мере отражают специфику биосферных заповедников и их

принципиальное отличие от других охраняемых территорий, в том числе и от отечественных заповедников. Биосферные заповедники — это модель, в которой сочетаются цели охраны природы и развития, особая форма интеграции самых разных сторон человеческой деятельности, модель устойчивого развития. Нет сомнения, что такая концепция прогрессивна, однако пока это лишь идеальный, а не реальный образ. Биосферных заповедников, соответствующих всем этим характеристикам, в мире не существует.

ПОЧЕМУ НАШИ БИОСФЕРНЫЕ ЗАПОВЕДНИКИ НЕ «БИОСФЕРНЫЕ»?

Оценим, насколько соответствуют международным требованиям наши отечественные биосферные заповедники. Все они, за исключением одного, — результат реорганизации обычных государственных заповедников. Многие из них обладают давними традициями и большим опытом работы. Основная их часть сосредоточена в весьма освоенных регионах, и это вполне оправданно, как с позиций охраны, так и с позиций наиболее актуальных научных и практических задач. Однако ни один из заповедников не содержит одновременно и ненарушенные природные ландшафты, и разрушающиеся экосистемы. Более того, при их организации такая цель и не ставилась. Точно так же люди и их деятельность не являются неотъемлемой частью наших биосферных заповедников, напротив, их действия, в соответствии с требованием строгой охраны, исключаются. Таким образом, наши биосферные заповедники пока лишь отчасти отвечают требованиям общей международной концепции, а потому и выполняют лишь функции охраны и фонового мониторинга; по сути, ни экспериментальные исследования, ни экологическое образование и обучение в них не осуществляются.

Следует ли из этого, что на территории отечественных биосферных заповедников необходимо организовать хозяйственную деятельность, как это предусмотрено международным статусом? Конечно нет. Наши биосферные заповедники — это фактически ядро, зона строгой охраны генетического разнообразия и экосистем. Территория большинства из них настолько мала, а хозяйственная активность на окружающих землях столь интенсивна, что такая деятельность, даже строго регламентированная, исключит сохранность девственных экосистем на всей площади такого заповедника. Это еще раз

убеждает в необходимости решения вопроса о расширении территорий небольших биосферных заповедников и, как минимум, о выделении достаточно обширных буферных зон со строго регламентированным режимом хозяйственной деятельности.

В силу противоречия между реальной территориальной структурой биосферных заповедников нашей страны и требованиями международного статуса многие специалисты и практики заповедного дела СССР справедливо считают, что наше понятие «биосферный заповедник» вообще неприложимо к биосферной концепции, что термин «заповедник» есть лишь неудачный перевод английского «reservation», имеющего совершенно иной смысл. Эти лингвистические коррективы весьма существенны, так как велик риск, что утвержденный ЮНЕСКО План действий биосферных заповедников, попавший в руки несведущему администратору, даст ему основание ввести в наши биосферные заповедники хозяйственную деятельность. Можно ли тогда доказать, что международное понимание биосферного заповедника не вполне соответствует отечественному?

Положение сейчас таково, что вошедшие в документы ЮНЕСКО 22 советских биосферных заповедника не полностью отвечают критериям «биосферности», они находятся на первой стадии своего формирования; переход их на следующую стадию — сложная проблема. Нет сомнений, что биосферные заповедники как форма регионального сочетания охраны природы и интенсивного использования ее ресурсов, экологического образования, стабильного экономического развития — актуальны. Но пока идея биосферности воплощается, крайне неполно, лишь в трех регионах страны: в верховьях р. Оки в Приокско-Террасном биосферном заповеднике, в Курской области в Центрально-Черноземном и в Приморском крае в Сихотэ-Алинском. И здесь деятельность сотрудников была больше направлена на охрану природы и организацию научных исследований, чем на разработку методов использования природных ресурсов, а интерес хозяйственников к рекомендациям ученых по формам ведения хозяйства был скорее формальным, чем деловым.

Совершенно очевидно, что наши биосферные заповедники могут стать действительно биосферными при экономических и социальных отношениях, отвечающих требованиям бережного использования природных ресурсов; при наличии собственного научного коллектива, который сейчас слишком мал, чтобы проводить серьезные ис-

следования; специальных аналитических лабораторий, оснащенных современной измерительной аппаратурой; специализированных вычислительных центров; при взаимодействии сотрудников заповедника с коллективами сильных научно-исследовательских институтов. Даже небольшой имеющийся опыт сотрудничества уже перечисленных нами институтов и заповедников показал, что такое взаимодействие — залог успеха в решении многих задач биосферных заповедников. Сейчас в них начинают действовать станции фонового наблюдения за загрязнением атмосферы, организованные Госкомгидрометом СССР, развивается экологический мониторинг.

Биосферные заповедники должны вести исследования по разработке щадящих, даже восстановительных способов хозяйствования на сопредельных территориях и искать для этого специальные технологии; следить за последствиями хозяйственной деятельности. Эти функции отечественных биосферных заповедников фактически даже не разработаны. Научная деятельность любого заповедника нашей страны всегда была связана только с его территорией, этим определялся и научный штат, и профессиональный подбор кадров. Именно поэтому заповедникам под силу только разные аспекты рационального использования охотничьих ресурсов. Для разрешения проблем сельского и лесного хозяйства, методов борьбы с загрязнением грунтовых вод и водоемов, для выработки обоснованного размещения в регионе производств и мест отдыха в заповедниках нет ни кадров, ни технических возможностей.

До сих пор не было никакого стимула для истинно биосферной деятельности: ведомства и местные власти, не мысля экологически, мало интересовались вопросами неистощающего комплексного использования природных ресурсов и условий своего собственного региона, не видели они и экономической выгоды от внедрения научных разработок. Такое отношение стало, по сути, стереотипным, и нужно много сил и времени для его изменения. Чтобы такие перемены стали реальными, нужно научить население соразмерять сиюминутные выгоды с отдаленными последствиями и перспективами хозяйствования. Очевидно, что это — общая задача экологического образования, в решение которой заповедники должны внести весомый вклад. Чтобы биосферные заповедники могли вести поиски эффективных форм комплексного регионального развития, им нужна поддержка на государственном уровне; программа развития био-



Розовые сиворцы в предгорной степи Сары-Челекского биосферного заповедника.

сферных заповедников должна войти в государственные программы решения экологических проблем.

В целях и задачах, поставленных перед биосферными заповедниками, как в зеркале отражаются научные, экологические, экономические и социальные проблемы нашей планеты. Именно эта их особенность заключается в себе совершенно новую, ранее неизвестную организационную форму интеграции актуальнейших сторон человеческой жизнедеятельности.

Дополнительный импульс для развития биосферных заповедников получают в рамках новой международной программы «Биосфера—геосфера: глобальные изменения». Главная задача этой программы — построение глобальной модели функционирования биосферы, модели, которая станет основой для выработки важнейших международных решений по экологическим проблемам. В биосферных заповедниках предполагается получить значительную часть информации о естественных и антропогенных процессах в репрезентативных точках планеты.

В настоящее время ЮНЕСКО и ЮНЕП существенную часть своей деятельности направляют на создание биосферных заповедников, отвечающих всем международным требованиям, в нескольких развивающихся странах. На этих примерах международное сообщество рассчитывает проверить основные идеи и представления о целях и задачах биосферных заповедников.



Озерная лягушка в Приокско-Террасном биосферном заповеднике.

Поскольку глобальные и региональные экологические проблемы повсеместно обостряются, в дальнейшем, вероятно, будут усложняться цели биосферных заповедников, будут развиваться формы их деятельности. Можно полагать, что биосферные заповедники со временем действительно станут своеобразными эталонами состояния природы, «экологическими обсерваториями». По сути своей биосферные заповедники должны быть полевыми экологическими научными центрами, предметной базой для развития экологических идей и полигоном для экспериментов, цель которых — разработать экологические, экономические, социальные методы управления отношениями между природой и человеком.

О СВЕЧЕНИИ МОРСКИХ ГУБОК

Член-корреспондент АН СССР
И. И. Гительзон

Институт биофизики СО АН СССР
Красноярск

С ПОСОБНОСТЬ излучать свет в результате окислительных реакций, катализируемых специфическими ферментами — люциферазами, свойственна многим видам морских животных, от простейших до рыб. Для некоторых в последние годы достоверно определен химический субстрат и выделен фермент биolumинесцентной реакции. Однако в отношении губок вопрос остается неясным. Неопределенность связана с тем, что у обитателей моря открыто два принципиально разных механизма свечения: собственное и за счет симбиотических бактерий. В строгом смысле слова, способность к свечению можно признать лишь в случае, если субстрат и фермент (или хотя бы только фермент) синтезируются клетками самих животных. Для губок это не выяснено. Исчерпывающим доказательством было бы выделение люциферазы из тканей светящихся губок и определение ее сходства или отличия от аналогичного бактериального фермента. Но для этого необходим достаточный источник материала — ткани светящихся губок. Однако до настоящего времени находки светящихся губок были единичны.

По-видимому, первое указание на свечение губок (из рода *Grantia*) содержится в книге Е. Харви¹; регистрировали свечение одиночных мелких губок, обитающих на коралловом рифе, и автор совместно с В. С. Филимоновым².

В 36-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Курчатов» (1983 г.), во время его нахождения вблизи северной оконечности Мадагас-



Светящиеся губки, поднятые тралом в Индийском океане с глубины около 50 м.

кара, в проливе у о. Носи-Бе, трал принес с глубины 45—47 м большое количество крупных роговых красно-коричневых губок размером от 15 до 30 см, ярко светившихся. К счастью, трал выбирали ночью, и свечение губок было хорошо видно не только в темноте, но заметно и на скудно освещенной палубе. Материал из трала любезно предоставлен нам Ф. А. Пастернаком (Институт океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР); определение губок выполнено в Зоологическом институте АН СССР В. М. Колтуном: они оказались относящимися к виду *Agelas mauritiana*.

Таким образом, впервые обнаружено свечение губок как массовое явление. В момент фиксации формалином по телу животных прокатывались яркие волны света, быстро и необратимо угасая. При механическом возбуждении живых губок — потирании, надавливании — свечение усиливалось, распространяясь волнообразно по телу животного. Внешне это похоже на распространение волны света по телу потревоженного морского пера (кишечнополостного) или пиромомы (обо-

лочника). Заметим, что усиление свечения в ответ на механическое раздражение не свойственно бактериям, излучающим постоянно. Вспышкой отвечают на возбуждение только животные, а это косвенным образом свидетельствует против бактериальной природы свечения губок. Однако это наблюдение не может служить достаточным доказательством. Не исключено, что механическое воздействие вызывает движение клеток губки (возможно, их жгутиков), усиливающее ток жидкости, а с нею — и кислорода, на что бактерии, свечение которых чувствительно к концентрации кислорода, отвечают его усилением.

К сожалению, в этом рейсе не было возможности выделить и исследовать люциферазу из светящихся губок. Однако теперь известны вид и место их массового обитания; достаточно количество тканей губок позволит провести биохимическое исследование механизма их свечения. Если свечение окажется не симбиотическим бактериальным, а собственным, то вследствие удаленного положения этого типа животных на филогенетическом древе можно ожидать существования у них особой биolumинесцентной системы, отличной от систем других животных, изученных ранее.

¹ Harvey E. N. Bioluminescence. N. Y., 1952.

² Гительзон И. И., Филимонов В. С. // Биол. моря. 1980. № 5. С. 45—51.

КАКОЙ БЫТЬ ДЕЛЬТЕ



Александр Евгеньевич Левинтов, кандидат географических наук, заведующий сектором Государственного проектно-исследовательского и научно-исследовательского института морского транспорта Министерства морского флота СССР. Круг научных интересов — морская торговля, проблемы освоения ресурсов суши и Мирового океана, методологические проблемы науки.

В КОНЦЕ 1986 г. в нашем институте появился необычный посетитель — начальник Усть-Дунайского порта С. В. Репников. Впрочем, что же тут удивительного. Люди в морской форме из самых дальних парходов частенько наведываются к нам. Необычным, пожалуй, было дело, приведшее в Москву начальника порта. Приехал он заключать с нами договор о научных исследованиях, которые дали бы возможность увеличить грузооборот порта за счет транзита. Меняются времена. Раньше наша наука сама «гонялась» за заказчиком, искала практических применений и внедрений в практику, а теперь дальновидные практики сами обращаются к науке.

Тут надо сказать несколько слов об Усть-Дунайске, порте уже функционирующем 8 лет, но на самом деле несуществующем.

Есть такой способ перевозки грузов: в устье реки собирают стандартные несамоходные баржи (лихтеры), прибывающие с верховьев, грузят в судно-матку (лихтеровоз) и переправляют за тридевять земель к устью другой реки, где лихтера выгружают и растаскивают в верховья, а на их место поступают уже другие, груженные лихтера. Быстро, удобно, чисто — ни тебе причалов, ни кранов — удобная и глубокая бухта да буксиры — вот и все. Такая система перевозок грузов возникла между устьем Дуная и Меконга. Объединение ряда дунайских стран «Интерлихтер» приобрело два мощных лихтеровоза — «Юлиус Фучик» и «Тибор Самуэли», необходимый парк лихтеров (один комплект — на Меконге, один — на Дунае, один — на лихтеровозах) и приступило в 1978 г. к перевозкам. Место разгрузки и загрузки лихтеровозов на Дунае предоставила наша страна. Им стала широкая Жебрияновская бухта на Черном море, расположенная между лиманом Сасык и судноходным рукавом Дуная под названием Прорва. Через два года это место получило официальный статус Усть-Дунайского порта.

В дальнейшем Усть-Дунайск стал обслуживать не только «Интерлихтер», но и другую лихтеровозную систему, связавшую СССР и его дунайских партнеров со странами Восточного Средиземноморья, Северной Африки, Красного моря и Восточной Африки. Здесь стали обслуживать и крупные морские суда, неспособные из-за глубин подняться вверх по течению реки до других портов. Но что может быть неустойчивей и неопределенней чужих планов и намерений? Усть-Дунайский порт решил выяснить свои перспективы с нашей помощью.

Так мы, специалисты по морской торговле и внешнеторговым транспортно-экономическим связям, почти из-за пустого места в южном углу пустынной Жебрияновской бухты оказались вовлеченными в пучину самых разнообразных проблем — экономических, политических, гидрологических, гидротехнических, этнографических, экологических, транспортных, рыбохозяйственных, мелиоративных и аграрных — всего и не перечислить.

Прежде всего нам пришлось разобраться в современных проблемах низовьев Дуная, которые легче понять, совершив небольшую исторический экскурс.

Древний Истр (так называли Дунай эллины) представлял собой рубеж, отделяющий цивилизованный мир от варваров. По Дунаю, от нынешнего Регенсбурга в Баварии до устья реки, проходила и граница Римской империи, к востоку от которой жили теперь уже исчезнувшие с лица земли даки, маркоманы, квады, языки и другие совсем уже забытые народы и племена. Это была, пожалуй, самая неспокойная граница империи. Вероятно, поэтому сюда ссы-

ДУНАЯ ?

А.Е. Левинтов

лались римские преступники и нарушители общественной морали, среди которых оказался и Овидий.

Для Римской империи низовья Дуная были восточными задворками, а значительно позже для Российской — западными. Сюда гнал царь Алексей Михайлович и его сын Петр I раскольников с западных территорий России. Липованы (филипоны, или пилипоны) изгонялись на Дунай из брянских и калужских лесов, где широко распространена липа, — отсюда и название. За Дунай, на далекую Саву уходили из разоренной и разогнанной Екатериной II Запорожской Сечи казаки. Уходили к туркам, в Османскую империю, лишь бы сохранить свою волюницу, обычаи и традиции. Потомки «запорожцев за Дунаем» до сих пор сохранили свою самобытность и национальную общность. В конце XVIII в. устье Дуная стало ареной ожесточенных сражений между русской и турецкой армиями. В ходе знаменитого штурма Суворова пала неприступная турецкая крепость Измаил. Нынешний город унаследовал от разрушенного города лишь территорию и название.

Дунай — это ожерелье прекрасных городов Европы — Вена, Линц, Братислава, Будапешт, Дунауйварош, Нови-Сад, Белград, Русе. А вот низовья — это пока все еще те же за-

дворки, мало освоенные, слабо заселенные, тихие, глухие.

Дунай — кратчайший и самый дешевый для стран Центральной Европы путь к океанам. От Вены до Суэца по Дунаю — 2040 миль, по железной дороге и через порты Адриатики — 1500 миль, через Гамбург и Роттердам — 4380 миль. Стоимость перевозки бразильской, либерийской или австралийской руды в Австрию через Гамбург составляет более 100 долл. за 1 т, через порты Адриатики — около 60, а по Дунаю — всего 20—25 долл. Экономические выгоды очевидны.

Тем не менее взят австрийцы свои грузы в основном окольным и дорогим путем — через порты ФРГ и Нидерландов. И не только австрийцы, но и баварцы, и чехи, и венгры. В чем дело? Очевидно, что не только и даже не столько в деньгах. Традиционные пути надежды, быстры, технически совершенны, предоставляют широкий спектр транспортного сервиса. Какой моряк предпочтет веселым и шумным кварталам Гамбурга комариный ад дунайских плавней? Есть такая грустная местная шутка: «Что такое Усть-Дунайск? — Три К: комары, камыши, «Кооперация» (некогда знаменитое пассажирское судно, ныне приотпленное в Жебрияновской бухте и используемое для оперативного управления грузовыми операциями). Тут есть над чем подумать.

Одна из самых серьезных проблем Дуная заключается в том, что его водами пользуются семь стран разом. Мало того, что дунайские города, промышленность, гидроэнергетика и сельское хозяйство разбирают значительную часть стока реки. Во многих странах разрабатываются и осуществляются проекты каналов и судоходных соединений Дуная с другими реками. И каждый раз речь идет о переброске дунайских вод в другие бассейны. На канале Рейн—Майн—Дунай (ФРГ), который будет завершён в 1992 г., соорудят 53 малых ГЭС, регулируют паводки в долине р. Альтмюль и увеличат потребление воды сельским хозяйством и промышленностью в бассейнах рек Майн и Регина. Канал Чернавода—Констанца (Румыния) введен в строй в 1984 г., помимо судоходства он призван решить проблемы водообеспечения городов и сел Румынии. Сооружение польско-чешского канала Дунай — Одра позволит создать не только новый транспортный путь в начале следующего века, но и покрыть острый дефицит в воде в Силезии и Северной Моравии. Спроектирован и итало-югославский канал Монфальдконе — Любляна, соединяющий адриатические порты Риеку и Триест с Савой и Дунаем, — здесь на одном из участков канала предполагается построить гигантский туннель — водоток из Савы к морю. На-



Северное Причерноморье. Между низовьями Дуная и Днестра располагается цепь лиманов.

конец, уже построен до сих пор вызывающий споры и недоумения канал Дунай — Сасык. (Сейчас Комиссия АН УССР тщательно занимается проблемой Сасыка — фрагмента гигантской мелиоративной системы Дунай — Днепр, предусматривающей переброску части стока Дуная в Днестр и Днепр).

Неприятности, возникшие в результате создания всех этих каналов, заключены не в уси-

низовьев Дуная. Малейшее нарушение, и реакция наступает незамедлительно. Эта сложнейшая система (2800 видов организмов, 25 видов млекопитающих, 230 видов птиц, сотни видов беспозвоночных, 600 видов высших растений — и все это в изобилии, перенасыщено, динамично) весьма чутко реагирует на воздействия человека. Обычный здесь (но весьма редкий в других районах) водяной орех давно был включен местным на-



Низовья Дуная.

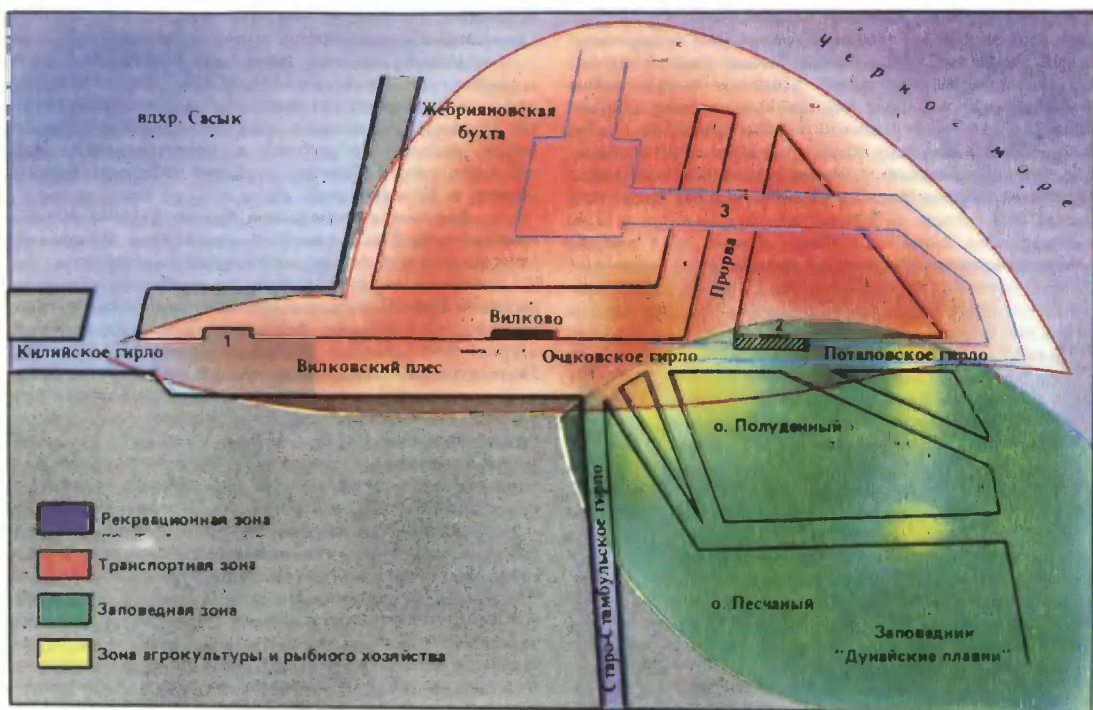
лении конкуренции за дунайские грузы — в конце концов, это не очень страшно, вполне можно прожить и без этих грузов. Гораздо важнее ухудшение гидрологической обстановки в низовьях Дуная. Ведь отвод стока по каналам по существу означает «старение» реки, и без того имеющей почтенный возраст. Некогда судоходные протоки засыпаются, рукава быстро меандрируют. Сейчас море заметно и интенсивно отступает под натиском алювиальных отложений (в ряде мест — по 40 м в год!). Короткий прямой рукав Прорва существенно удлинился, а его фарватер искривляется. И это несмотря на то, что ежегодно из Прорвы вычерпывается до 5 млн м³ песка. (Впрочем, как говорят старые липованы, чем больше черпать из Прорвы, тем больше ее будет заносить. Специалисты подтверждают это.) Сколько же придется черпать, если все каналы войдут в строй?

А ведь дноуглубительные работы вовсе не улучшают экологическую обстановку. Они разрушают донные биогеоценозы, затрудняют условия существования ихтиофауны, а следовательно, и водоплавающих птиц. Авандельта Дуная (конус выноса осадков) стремительно — заметно не только для ученых и старожилов, но и для каждого, кто здесь живет, — наступает на море, деформируя не только привычные нагульные пастбища ценнейших рыб. Одна дунайская сельдь чего стоит! А дунайский осетр, ставший большой редкостью? Все же здесь обитает более 100 видов рыб. Тесны и жестки связи в очень динамичной экосистеме

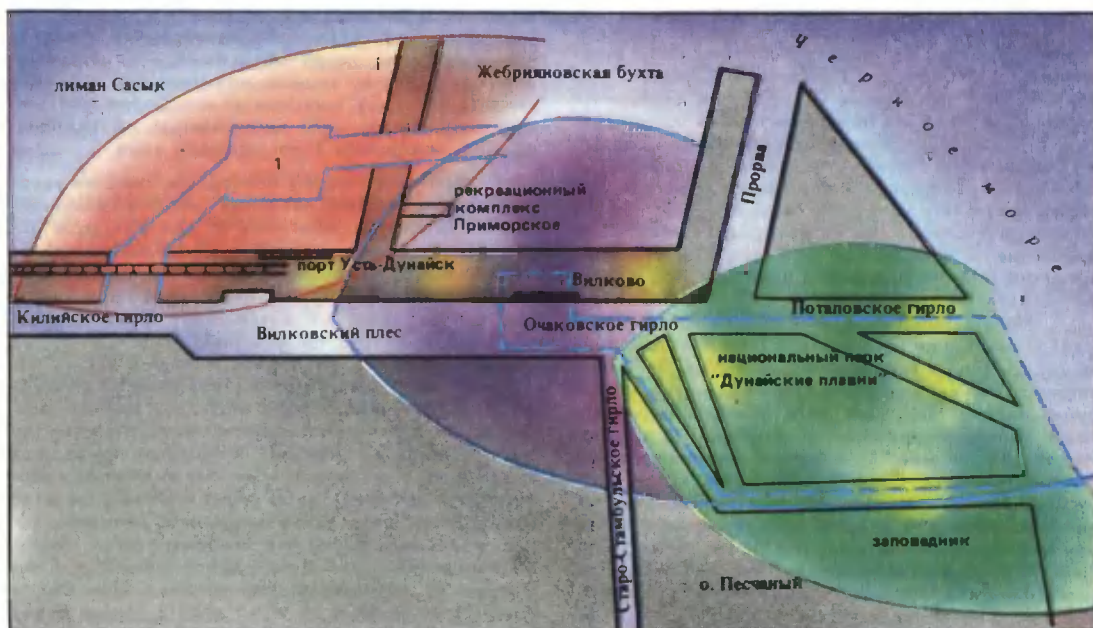
селением в хозяйственный оборот: им кормили скот, да и сами люди употребляли его в пищу. Установленный экологами запрет на его использование отразился на самом орехе и другой водной растительности. Орех стал непомерно и бесконтрольно разрастаться, глушить другие растения, да вскоре и себя. А камыш? Камыш широко использовался жителями дунайской Венеции — Вилково и окрестных прибрежных сел и деревень и при строительстве домов, и для укрепления берега, им топили печи и кормили скот. Каждую осень местные жители выжигали огромные пространства камышовых плавней, чтобы предотвратить его излишнее распространение. Сейчас палы запрещены, и что же? Камыш загустел, камышовые трубки стали хилыми и тонкими, заросли — непролазными. Птицы все реже строят в камышах гнезда. Кабан пробраться через эти гущи уже не может. Так, добрые намерения и ограничение без учета народного опыта, проверенного и оправданного веками, оборачиваются самым неожиданным и неприятным образом...

Но на этом местные экологические проблемы не кончаются.

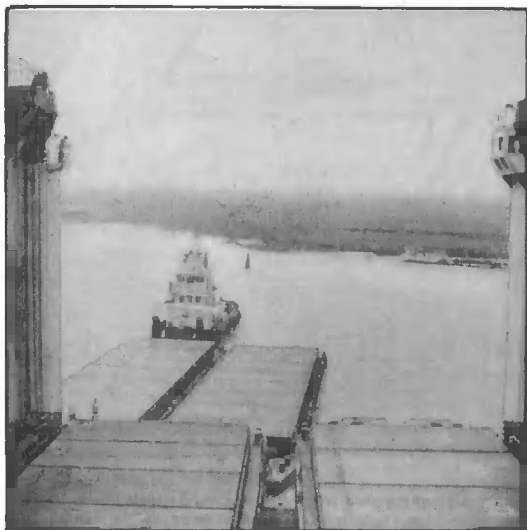
Жебрияновская бухта расположена между Прорвой и ставшим печально известным лиманом Сасык. Чем же «прославился» Сасык? Мелиораторы из «Укргипроводхоза» задумали обводнить всю причерноморскую Украину и перераспределить стоки Днепра, Днестра и Дуная. Многие из подобных проектов закрыты до их выполнения, еще больше — реализовано, и теперь идет борьба с последствиями этих реализаций, драматическая, подчас безнадёжная, каждый раз требующая больших средств и усилий. Без-



Две концепции развития устья Дуная. В в е р х у — отраслевая. Судостроение надвигается на заповедник, рыбопромысловые участки и зоны активного накопления осадков; транспортные объекты разбросаны по всему низовью реки. 1 — база ремонта лихтеров, 2 — база накопления лихтеров, 3 — канал Черное море — Очаковское гирло с лихтеровозной стоянкой в Жербяновской бухте. В н и з у — территориальная концепция. Четко выделяются специализированные зоны — транспортная, рекреационная, заповедная, имеющие экологически безопасные контакты. 1 — канал Черное море — Килийское гирло с лихтеровозной стоянкой в Сасыке.



возвратность потерь тем не менее не останавливает «преобразователей природы». Был прорыт канал Дунай — Сасык, а сам Сасык глухой перемычкой отделен от моря. Цель — опреснение лимана, — как и бывает в подобных случаях, не была достигнута (хотя сам по себе возникает вопрос — зачем вообще надо опреснять почти пресный лиман?). Наоборот, начались прямо противоположные процессы. Засоление лимана происхо-



Идет погрузка лихтеров.

дит из-за нарушений гидрологического режима. Начался процесс растворения соленых илов, устилающих дно Сасыка. Пробовали спускать всю воду — при заполнении Сасык опять становился соленым. К тому же поверхностный и подземный сток в Сасыке загрязнены минеральными солями и удобрениями. Помимо проблем собственно Сасыка все более реальной становится проблема потерь в результате засоления сельскохозяйственных угодий на прилегающих территориях: интенсивное орошение и интенсивная химизация в условиях аридного (степного) климата дают быстрые и весьма негативные результаты.

Нарушение гидрохимического баланса лимана (теперь уже не лимана, а озера, водохранилища) привело к экологическому взрыву — Сасык кишит рыбой как ни в какие другие времена. Но что будет потом? Массовый мор? Биологические мутации (помните знаменитых «рыбок» из кинокомедии «Ты — мне, я — тебе», прогрызших бетонный причал)? Пока мы не знаем конца этой бурной истории, однако следует напомнить, что нечто подобное — взрывы продуктивности — наблюдалось и на Арале, и на Обском море, и на Рыбинском водохранилище, вообще на большинстве крупных водохранилищ. Финал же везде одинаков: после нескольких лет рекордных уловов рыба

исчезала, особенно ценные породы, появлялись синезеленые водоросли, и все гнило.

Между прочим, пока идет борьба за Сасык и действует комиссия АН УССР, «Укргипроводхоз» уже проектирует перекрытие Днепро-Бугского лимана, Минводхоз уже вкладывает первые сотни миллионов рублей в строительство. Все же соединение Днепр — Дунай обойдется примерно в 30 млрд руб.

Вернемся к низовьям Дуная. Увы, их экологические проблемы еще не исчерпаны. Движение авандельты все более затрудняет судоходство по Килийскому гирлу (одному из наиболее мощных рукавов Дуная), а само судоходство становится все более угрожающим фактором для заповедника «Дунайские плавни» и всей экосистемы низовьев. Ленинградский гидрологический институт провел экспериментальное моделирование для целей создания нового судоходного канала, и... трасса предлагаемого гидрологами почти 13-километрового канала пересечет Прорву, сделав несколько поворотов в море (а всего на трассе — семь поворотов!), войдет в особо сильно заносимое Потаповское гирло, чтобы, совершив почти полный круг, достичь Очаковского гирла у начала Прорвы. Канал пройдет по самым обильным нерестилищам и рыбопромысловым зонам, ворвется во владения заповедника и окажется идеально заносимым. Сомнение вызывает даже не эксплуатация, а возможность создания такого сооружения. Идея канала вызвала бурную негативную реакцию и у речников, и у рыбаков, и у экологов

Существуют две концепции развития Усть-Дунайского порта. Первая — современная, носящая отраслевой характер. Хозяйство порта разбросано по значительной территории: собственно район грузовых операций — в Жебрияновской бухте, управление порта — в Вилково, база ремонта — в затоне Базарчук, база отстоя и накопления лихтеров — в Потаповском гирле ниже устья Прорвы, почти на территории заповедника. Разбросанность порта легко объяснима — транспортники по существу лишены возможности что-либо строить, поэтому используют все более или менее удобные для себя естественные места, лишь бы они находились в достигаемой зоне.

Ярким примером бесперспективности узкоотраслевых решений являются попытки преодоления трудностей, связанных с судоходством по Прорве. Эксплуатационники рассматривают только те варианты, которые в состоянии осуществить сами, без участия других отраслей и производителей (но и без учета их интересов): либо продолжать сизифов труд по черпанию песка из Прорвы (десять лет назад эти черпания были в десять раз меньше по объему, чем в настоящее время; сколько же будут черпать еще через десять лет, особенно, если учитывать искусственное старение реки? А ведь за каждый кубометр приходится платить — счет пошел уже на миллионы кубометров и рублей!), либо реанимировать некогда судоходное Потаповское гирло, либо создавать канал непосредственно из Жебрияновской бухты в Очаковское гирло Дуная, своеобразный дублер Прорвы (с возможным повторением всех бед и трудностей, даже если устье нового канала будет

зарегулировано низконапорным шлюзом). Отраслевые решения, помимо своей незавершенности и временности, имеют и еще одну явно негативную сторону — они препятствуют или затрудняют развитие других видов деятельности: вряд ли возможно мощное развитие пляжно-курортной зоны в одной акватории с портом, непосредственный контакт с заповедной зоной сохраняется, а интенсивное судоходство на Вилковском плесе останется сдерживающим фактором в развитии туризма и рыболовства. Основная черта современного транспортного освоения территории низовьев Дуная — лоскутность.

Предлагаемая нами концепция территориального развития строится на принципиально иной, междотраслевой основе.

Мы решили предложить идею порта, который своим существованием способствовал бы улучшению экологической обстановки (разумеется, порт останется портом и будет перерабатывать грузы), порта, построенного не только исходя из хозяйственных нужд, но и на разумных началах.

Прежде всего, необходимо как можно дальше убрать порт от заповедника, уничтожить перекрытие между Сасыком и морем, резко сократить или даже прекратить дноуглубительные работы в авандельте и низовьях Дуная.

Для этого достаточно перевести порт из Жебрияновской бухты в лиман, прорыв к нему короткий (чуть более 1 км) морской канал, подвести железную дорогу (сегодняшний порт, расположенный в углу Жебрияновской бухты, называемом Дурной кут, не может надеяться даже на плохонькую автодорогу через плавни) — до ближайшей станции всего 50 километров по прямому берегу, — создать навигационную обстановку на мелиоративном канале, т. е. сделать этот канал судоходным, что весьма несложно (в отсутствии размаха мелиораторов не упрекнешь). Порт будет перерабатывать лихтеры и грузы, экологически максимально безопасные: контейнеры, автотехнику, пиломатериалы, тарно-штучные грузы, инертные массовые грузы.

Но это все пока только меры экологической безопасности. Теперь о средствах помощи развитию всего района.

Дунай — трасса оживленного туризма. Самый интересный и престижный маршрут: семь дунайских стран — Черное море — Средиземное море. Пересадка пассажиров из морских судов на речные (или наоборот) осуществляется в Измаиле. Между нами, туристам в этом городе скучновато. Поэтому он даже не включен в круизные маршруты. Да и пробиваются в Измаил огромные пассажирские суда (типа «Айвазовского») нередко с большим трудом. Почему бы не перенести стоянку в Жебрияновскую бухту, к селу Приморско-

му? Здесь прекрасные песчаные пляжи, какие не снились не только австрийцам, чехам, венграм и другим представителям придунайских стран, но и жителям каменистых побережий Средиземного моря. Отсюда, из Приморского, туристы могли бы совершать экскурсии в Вилково (дунайская Венеция, настоящий этнографический и фольклорный рай для туристов: редчайшая экзотика каналов, фруктово-ягодное и рыбное изобилие, уникальное вино с клубничным ароматом — новак) и в заповедник «Дунайские плавни», точнее, периферийные зоны заповедника с режимом национального парка. Кроме того, безлюдность окрестных вод и мест позволит создать уголки кратковременного отдыха — уединения с природой, экологического покоя. Основную часть доходов от своеобразного этно-экологического туристического сервиса, в том числе валютных доходов, можно было бы направить на нужды Вилково и заповедника.

Но ведь рекреационные ресурсы этих мест могут быть использованы шире и разнообразнее. Помимо круизного туризма здесь может быть создана мощная рекреационная индустрия национального и международного значения. Болгарский опыт создания современных пляжных комплексов (Солнечный берег, Албена и другие) и кубинский опыт (Барадеро, Санта-Мария, Бакуранаро) может быть перенесен и в Жебрияновскую бухту (а пока ее потихоньку осваивают дикири и некоторые предприятия, создающие здесь не очень комфортабельные и совсем неказистые пансионаты и базы отдыха). Спортивная морская рыбалка, прогулки и походы на яхтах (минимум моторного маломерного флота с его грохотом, вонью и шлейфом отходов в воде), подводный спорт — этот уголок благодатного юга смог бы стать эталоном «зеленого» отдыха, сочетающего развлечения с экологическим и этнографическим просвещением.

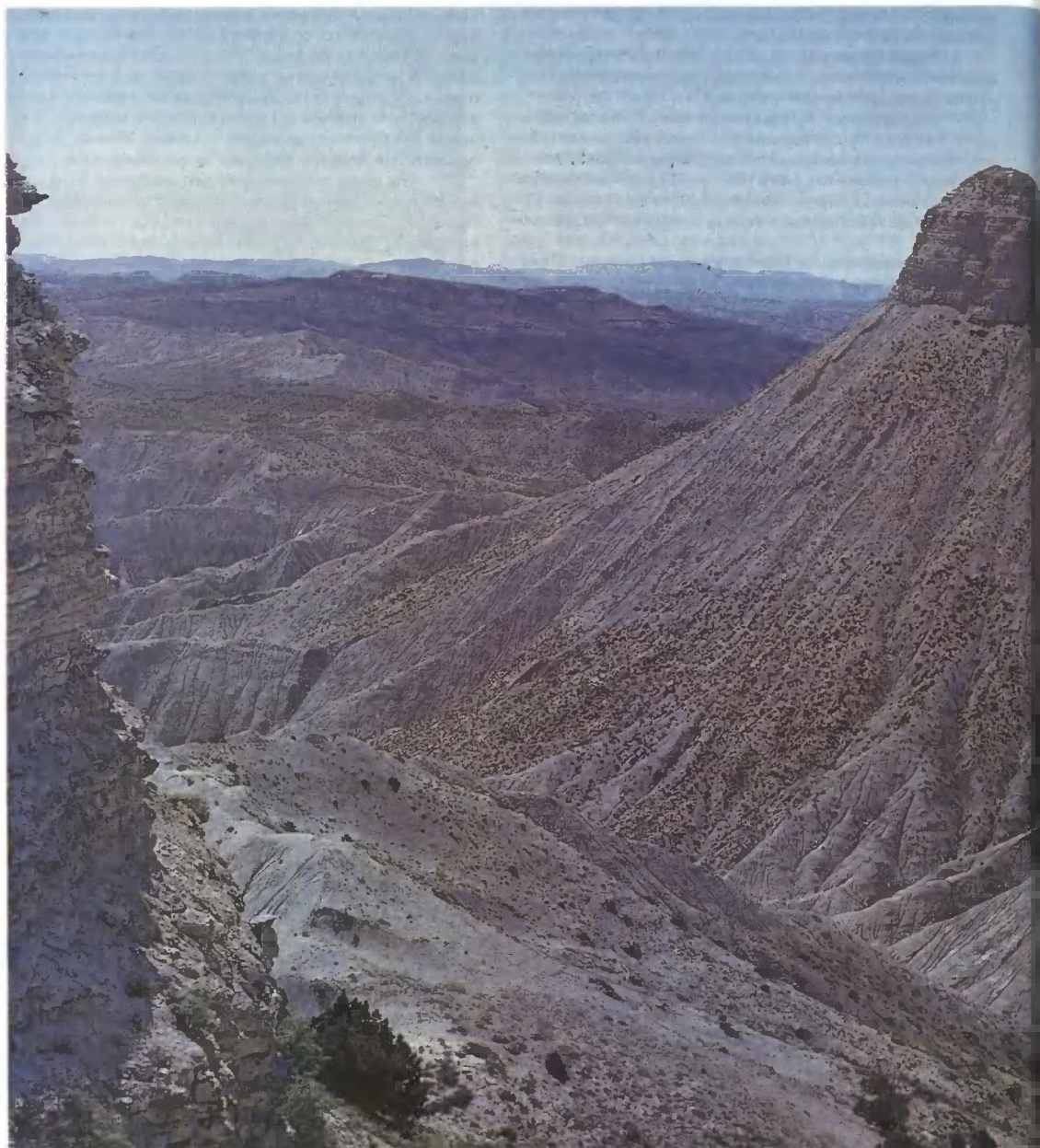
И, наконец, последнее.

Агроресурсы края огромны и заключаются не только в природно-климатических условиях и плодородии почв. Не менее важны навыки и опыт местного населения в виноградарстве, плодоводстве, садоводстве и огородничестве. Во многом этот потенциал пока не используется — продукция нетранспортабельна, перерабатывающие мощности слабы, а потребление ничтожно. Приток туристов и населения, которое будет обслуживать порт и курортную зону, создадут отличные предпосылки для расцвета здесь уникальной агрокультуры.

И тогда, возможно, моряка потянет к этим солнечным и тихим берегам вместо индустриализированных и урбанизированных побережий Балтики и Северного моря, а у Усть-Дунайского порта появятся неплохие шансы в конкуренции с Гамбургом, Бременом и Роттердамом.



ПУТЕШЕСТВИЕ



В ТРГОЙ

Г. М. Проскурякова,
кандидат биологических наук

Т. М. Смирнова
Главный ботанический сад АН СССР
Москва

ЭТОТ БЕГЛЫЙ ОЧЕРК не имеет цели дать анализ флоры Тргой — небольшой территории на юго-западе Копетдага. Нам хочется рассказать об этом замечательном месте, чтобы привлечь к нему внимание ботаников и всех, кто обеспокоен судьбой природы, ее сохранностью. Богатство флоры Тргой, ее специфичность, обилие видов, официально охраняемых или представляющих значительную хозяйственную ценность, уже делают этот массив ценнейшей территорией, заслуживающей охраны. Свообразие ландшафта и растительности, ее исключительное разнообразие придают ему особую прелесть и увеличивают его ценность.

Глубокий каньон спрятал от глаз реку Сумбар. Мутная вода неспешно течет меж отвесных многометровых стен, но, чтобы увидеть ее, нужно ступить на самую кромку обрыва. Это небезопасно: временами полоса земли по краю его отваливается, как ломоть пирога, и бесшумно рушится вниз. И только облачко лессовой пыли, подобное дыму, указывает это место.

Вскоре за Шерлоуком дорога переходит на левый берег. Наезженная, изрядно разбитая, она то приближается, то уходит от реки, петляя меж холмов, открывающих временами дальние цепи Копетдага. Весной холмы эти пестрым ситцем мелькают по сторонам — цветут желтые амбербоа, красные ремерии, синие иксиолирионы.

Сразу за Терсаканом Сумбар круто уходит вправо, а дорога продолжает свой бег на северо-восток к Ходжа-Кале, и больше на всем этом пути воды не будет. Теперь слева от дороги тянется лишь русло Терсакана. Оно неглубоко врезано в лессовые холмы и с дороги почти не видно. В хорошую влажную весну на дне его журчит ручей; в такой год воду встретишь даже в мелких ручьях его верхний — они сочатся с отрогов Хасардага и все вместе дают недолгую жизнь Терсакану. Совсем недолгую — 2—3 весенних месяца. На карте они все помечены аккуратной срочкой синего пунктира (значит, надейся, но не рассчитывай).

Слева к дороге все ближе придвигаются горы — встает хребет Кулмач. Его обрывы бастионами торчат по горизонту, а от них плавно спускаются размытые склоны. К самому Терсакану подступают глинистые холмы — серые, розовые, белые. Они теснятся, наползают друг на друга. И когда Кулмач уже отодвигается назад, глинистые холмы эти заполняют всю панораму. Неожиданно яркие после дождя — малиновые, розовые, зеленоватые и фиолетовые, исчерченные разноцветными полосами, как слоенный пирог, они занимают все пространство от Терсакана до горизонта и поражают своим многоцветьем. Это и есть массив Тргой, те самые пестроцветы, те самые бедленды (дурные земли), куда и держим путь.



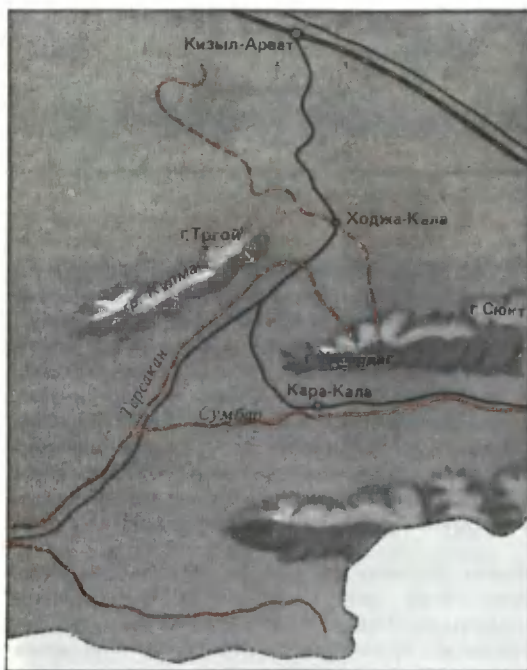


Схема Юго-Западного Копетдага.

Мы здесь не первые из ботаников: из Тргоя уже описано немало видов (не только нас заворожили эти пестрые горки). Ссылки на Тргой попадаютсся во «Флоре Туркмении», растения с пометкой «Тргой» встречаешь в гербарии. Пестроцветы всегда влекут натуралиста. Высокая минерализация субстрата, вечное обновление почвы (если здесь вообще уместно говорить о почве), специфичный химизм материнской породы делают условия существования растений столь своеобразными, что здесь способны выжить лишь немногие виды. Зато среди них окажутся крайне специфические формы, узкие эндемики, морфологические диковины, виды неожиданного генетического и географического родства, экологические виртуозы. Известный исследователь флоры Средней Азии М. Г. Попов писал о бухарских пестроцветах: «Совершенно несомненно, что растительность гаммады и пестроцветов имела тесную связь через Переднюю Азию с растительностью столовой страны Палестины и Северной Африки, откуда явились ныне остаточные в Туркестане типы явно африканского происхождения». На пестроцветах сохранились формы разного возраста, в том числе и очень древние: «...среди комплек-

са ксерофитов пестроцветов можно генетически различать следующие градации древности: 1) наиболее древние третичные формы, потерявшие всякую связь со своими циклами, вероятно все африканского происхождения... 2) более молодые четвертичные формы иранского и отчасти африканского центров... 3) более молодые четвертичные формы местных центров»¹. Написанное о бухарских пестроцветах справедливо и в отношении других аналогичных мест.

Неширокое русло Терсакана, изрытое промоинами, поросло полынью. Уже высохший мортук и однолетний ячмень колют ноги. Среди пожелтевшей редкой травы поднимаются стрелки цветущего лука Регеля (*Allium regelii*), растения нечасто и далеко не везде в этих краях встречающегося. В тот год на Тргое луковые «луга» малиновым половодьем затопили все вокруг, повсюду качались высокие цветоносы с мутовками ярких цветков. Мутовки сидели одна над другой; «многоэтажность» цветоноса была различной — от 2 до 4—5 у разных особей. Луковые луга расстилались у подножья холмов и едва поднимались по склонам. Вместе с этим луком в изобилии росли мерендеры (*Merendera robusta* и *M. jolantae*), к нашему пребыванию в Тргое уже отцветшие, как и ирис (*Iris longiscapa*). Их коричневые коробочки начинали лопаться, рассыпая семена.

Горбатые, сильно размытые холмы, сложенные темно-серыми палеогеновыми глинами, надвигались со всех сторон. Их крутые, оглаженные водой, будто облизанные, бока схвачены тонкой потрескавшейся коркой. Она до первого дождя. После дождя образуется новый хрупкий панцирь. Рыхлый субстрат размывается дождями, развевается ветром, открывая захоронения древних морских ежей. Скатившиеся вниз, они россыпями лежат у подошвы склонов — одни крупные, как теннисный мяч, и чуть угловатые, другие с горошину размером. Все они такие же серые, как и склоны.

Растения, поселившиеся здесь, обречены вечно быть пионерами. Их очень мало. Отдельные куртинки парнолистника — двести на пустом склоне. Удерживаясь на нем, они не могут, однако, задержать эрозию и живут на постоянно обновляющемся субстрате. Чтобы растения не вымыло из почвы дождем, как ежой из рыхлой породы, им приходится отращивать мощную корне-

¹ Попов М. Г. // Тр. Туркест. науч. о-ва. 1923. Т. 1. С. 21, 22.

вую систему. Всего лишь два вида этих растений на серых буграх, которые даже ботанику кажутся голыми. Оба вида — парнолистники — представители своеобразного африкано-среднеазиатского рода, прекрасно приспособленного к существованию на сильно минерализованных грунтах.

Портулаковый парнолистник (*Zygophyllum portulacoides*) распластал, растянул свою корневую систему, прошив ею неглубокий слой рыхлого грунта. Широко раскинутые (более двух метров в диаметре) в мелком приповерхностном слое (не глубже 20 см) корни, как короткий, но туго натянутый якорь, удержат растение, даже когда по склону хлынет поток воды. Именно поток — потому что ничто воду на склоне не задерживает, на ее пути нет растений. Такой характер корневой системы легко объяснить: глинистый субстрат плохо аэрируется и неглубоко промачивается дождем.

Другой парнолистник — большекрылый (*Z. macropterum*) — однолетник. Его тонкий и коротенький корешок без труда можно выдернуть, даже не оборвав кончика. Такому не удержать сочное тяжелое растение на склоне. Поэтому большекрылый парнолистник и селится не на склоне, а у подошвы его или по неглубоким котловинам, затянута тонким серым слоем глины, смытым со склонов холмов.

Так непохожи друг на друга два эти парнолистника — единственные обитатели угрюмых серых склонов! Специфичный химизм субстрата и его вечная подвижность сузили круг обитателей всего лишь до двух видов (да и те из одного рода). Они приспособились к столь своеобразной среде, используя разную, даже противоположную жизненную стратегию. Многолетний портулаковый парнолистник образует крупный куст, одетый сочными листьями, с крепкими и толстыми, как шнур, насыщенными водой корнями, страхующими растение и в дождь и в засуху. А другой — большекрылый парнолистник — ни от чего не застрахован, зато быстро растет, рано зацветает и дает массу плодов, которые быстро созревают. Большие крылья придают им высокую парусность и плавучесть. Но и этот не защищенный ничем однолетник оказывается тоже устойчивым на сложной жизненной арене серых глин. Он успевает быстро дать много плодов, которыми широко расселяется, поддерживая существование если не особи (как у парнолистника портулакового), то популяции.

На выщелоченных серых глинах изредка можно увидеть еще и третье растение — копетдагский эремурус (*Eremurus*



Ирис Эвбанка — вид из «Красной книги СССР», каких в Тргое немало.

kopetdaghensis). В 1932 г. он и был отсюда, из Тргой, описан М. Г. Поповым. Это редкое — растение внесено в «Красную книгу СССР» и нуждается в самой строгой охране. Султаны его нежных розоватых цветков появляются ранней весной, в апреле растение уже отцветает. Как и другие обитатели серых глин, это узко специализированная форма, и гарантию сохранности вида может дать только охрана этих специфичных грунтов. Между тем они интенсивно разрушаются: природной эрозии активно способствует человек земляными работами, бессистемным и чрезмерным выпасом. Мест, где растет копетдагский эремурус, немного — всего несколько точек в Западном Копетдаге, и все они наперечет. Всем им реально угрожает разрушение, а потеря вида, даже одного, непоправима. Эремурус из Тргой к тому же замечательно декоративен!

На Тргое немало и других декоративных растений. Их встречаешь на каждом шагу, стоит лишь выбраться из серых холмов. Больше всего их весной. У подножья холмов, на лессах, недолго зеленеющих нежной травой, зацветают ирисы. Самый изысканный из них — ирис Эвбанка (*Iris ewbankiana*): короткий цветонос держит крупный цветок, его прозрачно-серые лепестки исчерчены сеткой темных жилок, середина припечатана темным пятном. В эту пору уже доцветают тюльпаны, их на Тргое несколько



Полынь на солонцах у подножия хеймов.

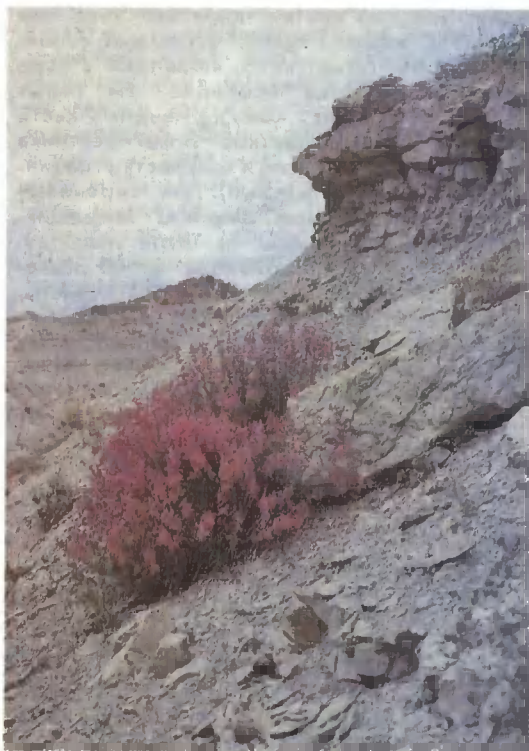
Луковые «луга» не поднимаются выше подножия хеймов.

Серые бугры, сложенные палеогеновыми глинами, почти лишены растений.





Растительный «покров» Тргой очень разрежен.



На щебнистых склонах обычен туркменский чистец.

Уже в конце весны на прангосе зреют плоды.



Миндаль безлистный — эндемик Юго-Западного Копетдага.

видов. Красные цветки тюльпанов Вильсона и Микеля видны издали; огромный огненный цветок гигантского тюльпана (*Tulipa ingens*) выделяется особенно. На голых глинистых склонах кое-где видны кисти светлых розовых цветков роголепестника (*Rhinopetalum gibbosum*) и множество гиацинтов (*Hyacinthus litwinowii*). Их сиреневые кисти, торчащие меж широких лоснящихся листьев, встречаешь на Тргое повсюду, кроме серых глин и солонцов. Ветер раскачивает синие колокольчики иксиолириона, доцветают ирисы, крупные нарядные цветки юноры Фостера, розовые и желтые головки цветущих луков, которых здесь уйма, гибкие кисти малиновых гладиолусов (*Gladiolus italicus*). А ведь почти все перечисленные здесь растения подлежат охране!

Площадь массива Тргой невелика — немногим более 100 км². Поэтому удивляет разнообразие ландшафтов — вероятно, все возможные в этом высотном пределе (600 м над ур. м.). При исключительно «аридном» облике местности, подчеркнутым крайней разреженностью растительного покрова, здесь, однако, не так мало воды — пресной и соленой. Только распределена она неравномерно: на солонцеватые заболоченные луговины с горько-солеными ручьями надвигаются пустынные глинистые холмы. Здесь — ни родничка, и вечный дефицит влаги. Ни единого родника и по всему гребню массива, сложенного известняками. Но там, где белые глины соседствуют с пресными ключами, кое-где образуются болотца-окна с бедной, но своеобразной флорой. Окруженные кольцом яркой и густой зелени влаголюбивых растений, в середине они почти лишены растительности. Их белые, будто «слепые» пятна украшены лишь редкими куртинами кресса (*Lepidium crassifolium*). Блестящие сочные листья очень привлекательны, но остаются нетронутыми: поверхность болотца — как сметана и не держит даже мелкого животного.

Когда поднимаешься на каменистый гребень массива, кажется, что расстaeшь с Тргоем — так непохож он на глинистые холмы, лежащие кругом. Гребень этот много выше окружающих холмов. Плиты известняка присыпаны щебнем и скудным мелкоземом, прорезаны ущельем и ложбинами. На хорошо дренированных склонах зеленеют злаки и полыни, поднимаются султаны индерского эремуруса (*Eremurus inderiensis*), кусты барбариса (*Berberis integrifolia*) свешиваются из расщелин, деревца каркаса (*Celtis saucastica*) затиснуты в тень ущелья — словом, это совсем другой мир.

Чуть приметная тропка бежит поверху и выводит к вершине. Она оказывается неожиданно оторванной от всего гребня — ее макушка (668 м над ур. м.) сдвинута к западу. Окруженная правильными конусами выветрившейся и смытой дождями породы, она видна отовсюду. Как и сам гребень, она сложена светлыми горизонтально лежащими плитами известняка, чуть желтоватыми на солнце и густо синеющими в тени.

Сверху далеко видно: по горизонту голубой цепью встают высокие горы Копетдага, на юго-востоке среди них — вершины Хасардаг и Сюнт, на северо-востоке — синие зубцы Передового хребта. А вокруг — подступающие вплотную к вершине пестроцветы Тргой. Белые, серые, малиновые, зеленые! Сжатые, стиснутые в складки, поднявшиеся холмами, уступами, куэстами (уступами с обрывистыми склонами разной крутизны), они прорезаны сухими руслами, веером раскатившимися со склонов, и тянутся до самого горизонта.

А растительный покров? Собственно «покрова» нет. Это хорошо видно сверху, откуда все горки кажутся забрызганными темными пятнами на склонах и в котловинах. Это отдельные растения, их кустики или кусты не только никогда не смыкаются, но отстоят друг от друга на расстоянии.

Самые крупные пятна — деревья. Древовидный можжевельник, или туркменская арча (*Juniperus turcomanica*), уцелела здесь чудом. Деревья спускаются до абсолютной высоты в 200—100 м над ур. м., что лишний раз подтверждает замечательную экологическую пластичность и климатическую выносливость этого вида и вместе с тем дает еще одно доказательство искусственности нижней границы арчевников в Копетдаге, поднятой ныне с помощью топора до 1000—1200 м над ур. м. Крупные пышные деревья арчи в Тргое обильно плодоносят, следовательно, вид находит здесь экологический оптимум. Другого такого места, где природные насаждения туркменской арчи спускались бы почти до равнины, пожалуй, и не найти — Тргой в этом отношении уникален. Вместе с арчой растет засухоустойчивый мелколиственный туркменский клен (*Acer turcomanicum*).

В Тргое совсем не выражена вертикальная зональность растительности (небольшой высотный диапазон), зато огромную роль играют микроусловия, особенно разнообразие субстрата. Разный химизм, разные физические характеристики (плотность, нагрев и пр.) обуславливают его разную структуру и способность к подвижности. Отсюда и мозаичность растительности. О типах

ее можно говорить условно и только в связи с субстратом. На разрушающихся известняках растут арча и клен; в ущельях — каркас; щебнистые известняковые склоны покрыты кустарниками и травами; солонцеватые, смытые со склонов рыхлые отложения поросли полынью и солянками, намытые солеными ручьями наносы занимают солонцеватые луга; на серых палеогеновых глинах господствуют парнолистники; на розовых и палевых глинах — амбербоа; на хрящеватых пестроцветах — мориера; на лесах — эфемерная растительность с доминирующим луком Регеля; на ключевых болотцах, образовавшихся на белых глинах, растет кресс. Какое разнообразие для такой малой территории!

Флора наиболее любопытна и богата на хрящеватых пестроцветах. Весной они выглядят красочным садом и налиты густым медовым запахом. Сильно щебнистые светлые разрушающиеся породы богаты гипсом — его обломки поблескивают на солнце. На них кусты мориеры (*Moriera transhyrcana*), густо облепленные мелкими розоватыми цветками, как и кусты колючей курчавки (*Atraphaxis spinosa*). Мориера — единственный древесный представитель крестоцветных в отечественной флоре и притом прекрасным медонос. Между кустами — колючие подушки акантолимона и крупные травы — седая риндера, астрагалы, сочные сизые листья какцинии, растопыренные куртины шлемника с желто-синими цветками. Между куртинами — россыпь эфемеров. Распростертая, прижатая к земле фумана только открывает прекрасные желтые цветки. Густо-синие, будто сбрызнутые белыми крапинами цветки горечавки Оливье (*Gentiana olivieri*) раскриты навстречу солнцу и всегда обращены вверх. Этот единственный сухоустойчивый представитель высокогорного рода, растущего в основном в умеренном климате, — самое обычное растение пустынных холмов. Встречается оно и по всей Средней Азии, и в Закавказье. На глинистых обнаженных склонах, слепящих солнцем, видны отдельные кустики прангоса (*Prangos latiloba*). Его узорчатые хрящеватые листья образуют крупную розетку, из которой поднимается побег с зонтиками румяных плодов. Пестроцветы оказались богаче всех эндемиков, среди которых преобладают копетдагские.

Нет нужды перечислять все виды, характеризуя флору Тргой. Она весьма богата

(около 400 видов) и своеобразна: 12 % составляют эндемичные виды. На Тргою можно встретить виды разного географического происхождения. Основной ареал одних весьма удален, других — представляет восточную границу общего распространения вида, а чаще — западную. Эндемики Центрального и Западного Копетдага не продвинулись к западу далее Тргой, оказавшись своеобразным географическим рубежом. Даже виды широкого географического распространения, которых в Тргою немало, здесь по-своему любопытны. Например, большекрылый парнолистник, о котором уже была речь, на Тргою имеет столь своеобразную форму, что ее следует поставить особняком внутри этого вида. Ареал этого вида огромный — Башкирия, Арало-Каспий, Кызылкумы, Тянь-Шань, Памиро-Алай, Иранское нагорье и др., — и везде растение характеризуется немалой полиморфностью. Однако ни в одном из указанных районов нет форм, полностью идентичных тргойским. Видимо, специфичный химизм субстрата и экологическая изоляция места способствует активному формообразованию.

Любопытна даже негативная характеристика флоры Тргой: здесь отсутствуют такие обычные и повсеместные (в том числе и в Копетдаге) роды, как миндаль, роза, ежевика, держи-дерево, ива, гипекоум и др.

Здесь нет нужды подробно анализировать флору Тргой, скажем лишь, что ее богатство, специфичность, наличие редких и хозяйственно важных видов заслуживают того, чтобы оградить от опасности этот ценнейший природный комплекс.

С Тргою соседствует Сюнт-Хасардагский заповедник. В его состав, однако, не включены территории, аналогичные Тргою. Неудивительно поэтому, что во флоре заповедника нет некоторых видов, которые обычны в Тргою, в числе их — и видов из Красной книги (эремуруса копетдагского, например). Это крупное упущение, которое необходимо исправить. Массив Тргой следует присоединить к Сюнт-Хасардагскому заповеднику, тем более, что речь идет о небольшой территории. Присоединение же ее к охраняемой территории заповедника повысит его научную ценность, так как увеличит его экологическое разнообразие и, значит, ботаническую полноту и представительность.

Дело не терпит отлагательства, ведь Тргою активно разрушается бессистемным и чрезмерным выпасом.

ОТ ИЗОТОПОВ ДО БЕЛКОВ:



Борис Львович Мильман, кандидат химических наук, старший научный сотрудник НПО «Государственный институт прикладной химии» (Ленинград). Область научных интересов — физическая и органическая химия, химическая технология.

СОВРЕМЕННАЯ технология научных исследований немыслима без инструментальных физико-химических методов анализа, среди которых один из наиболее информативных и высокочувствительных — масс-спектрометрия. С ее помощью определяются массы атомов и молекул, входящих в состав исследуемого вещества, и их относительное содержание.

Традиционно главная сфера приложения масс-спектрометрии — мир органических соединений. Но далеко не всех. И характеристики большинства приборов, и требования, предъявляемые к анализируемым образцам, таковы, что прямому исследованию до недавнего времени могли быть подвергнуты лишь низкомолекулярные соединения. Отбрасывались синтетические полимеры и биополимеры; пограничные с органической химией области биохимии, молекулярной биологии охватывались данным методом довольно скромно. Именно поэтому недавний прорыв масс-спектрометрии в область больших биомолекул и даже белков с молекулярными массами в диапазоне 5000—25 000 (здесь и ниже используются атомные единицы массы) представляется столь значительным.

Мы познакомим читателя с последними достижениями масс-спектрометрии, проследив за тем, как все выше и



Один из современных масс-спектрометров (MS 890, Великобритания): слева — аналитическая стойка, справа — измерительная. Позволяет анализировать вещества с молекулярной массой до 16 000.

развитие и рекорды масс-спектрометрии

Б.Л.Мильман

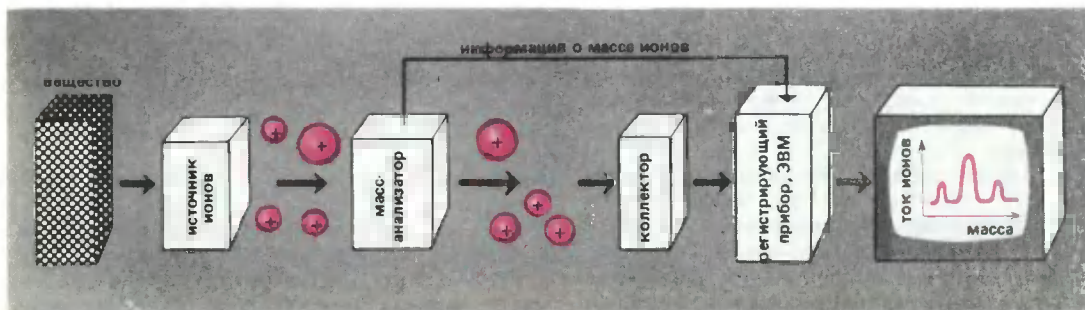


Схема масс-спектрометра. Обычно он содержит устройство для ввода исследуемого вещества, источник ионов, где это вещество частично ионизуется (при облучении электронами или фотонами, под воздействием высоких температур или сильных полей) и происходит формирование ионного пучка. Образующиеся ионы (мы обсуждаем только положительные) соответствуют исходным молекулам, в некоторых случаях их комплексам и фрагментам, отдельным атомам. Далее пучок ионов попадает в масс-анализатор, где ионы разделяются по массам (точнее, по величине отношения массы иона к его заряду) под действием сильных электрических и магнитных полей, а также вследствие различного времени их пролета до коллектора. Здесь ионный ток преобразуется в электрический сигнал, который затем усиливается и регистрируется. Помимо информации о токе ионов в регистрирующее устройство поступают из масс-анализатора сведения о массе ионов. В результате мы получаем масс-спектр исследуемого образца — зависимость тока ионов от их массы. В изображенном на рисунке масс-спектре наибольший пик соответствует молекулярному иону, два других — заряженным осколкам молекул.

выше поднималась «планка рекордов» в этой области науки и какими способами это осуществлялось. А для сравнительного анализа, который нам предстоит провести, выберем такие характеристики, как размер и природа молекул исследуемого вещества.

МОЛЕКУЛЯРНЫЙ ИОН И МОЛЕКУЛЯРНАЯ МАССА

Начнем с того, как, собственно, проводится масс-спектральный анализ. Исследуемое вещество подвергается ионизации, затем пучок образовавшихся ионов разделяют по массам под воздействием электрического и магнитного полей. Если метод используется для количественного анализа, то сравниваются токи ионов, относящихся к различным веществам. Если же надо определить состав или даже структуру анализируемого вещества (как принято говорить, идентифицировать его), то оперируют прежде всего измеренными массами ионов. Совокупность значений масс ионов и их отно-

сительного содержания называется масс-спектром.

В процессе ионизации наряду с молекулярными ионами (которые возникают при удалении электрона из молекулы, присоединении к ней катиона водорода, т. е. протона, или металла) образуются также заряженные фрагменты молекул (осколочные ионы). Они полезны и, более того, даже необходимы для идентификации вещества. Однако основанные только на них умозаключения о природе исходных молекул не гарантируют успеха. Трудности, с которыми сталкивается в этом случае исследователь, сходны с теми, что ожидают археолога, обнаружившего при раскопках груды черепков, или палеонтолога, нашедшего лишь несколько костей от целого скелета. Наиболее достоверные выводы позволяет сделать неразрушенный объект — в нашем случае молекулярный ион.

Этим и определяется магистральное направление развития масс-спектрометрии — создание и усовершенствование способов ионизации, позволяющих получать

именно молекулярные ионы у веществ любой природы и с любой молекулярной массой.

По мере увеличения размера молекул (а следовательно, молекулярной массы) вероятность обнаружить молекулярные ионы уменьшается (причины мы обсудим ниже). К такому же результату часто приводит усложнение структуры исследуемой молекулы — введение в углеводород, например, кислород-, азотсодержащих и других функциональных групп. Поэтому о прогрессе в масс-спектрометрии можно судить как по увеличению масс, так и по усложнению молекул веществ, доступных исследованию и анализу.

Чтобы наиболее наглядно продемонстрировать развитие метода, введем понятие рекордной молекулярной массы (РММ) — наибольшей массы молекул вещества, которую можно было установить по пикам молекулярных ионов в то или иное время. Пользуясь терминологией наукометрии, РММ можно назвать индикатором масс-спектрального метода анализа. Хронологические изменения РММ и природы соответствующих соединений, за которыми мы будем следить, отражают совершенствование масс-спектрометрии, влияние на нее различных научных и технических достижений.

Итак, обратимся к истории.

ЭРА ЭЛЕКТРОННОГО УДАРА

Первые масс-спектры, по существу, были получены в Великобритании Дж. Дж. Томсоном (1912), а затем Ф. Астоном (1919), который создал в Кембридже первый масс-спектрограф и начал на нем исследования, удостоенные уже через три года Нобелевской премии. Главный итог деятельности Астона — открытие 78 % всех известных сейчас стабильных изотопов¹. На основе точно измеренных атомных масс изотопов Астон вычислил дефекты масс — величины фундаментальной важности, позволившие определить энергии связей нуклонов в ядре и предсказать энергетiku ядерных реакций. Это стало существенным вкладом обсуждаемого метода в развитие физики ядра. Забегая вперед, скажем, что сегодня, наоборот, достижения ядерной

физики и ядерно-физической техники, такие как искусственные элементы, ускорители, регистрирующая аппаратура, содействуют развитию масс-спектрометрии.

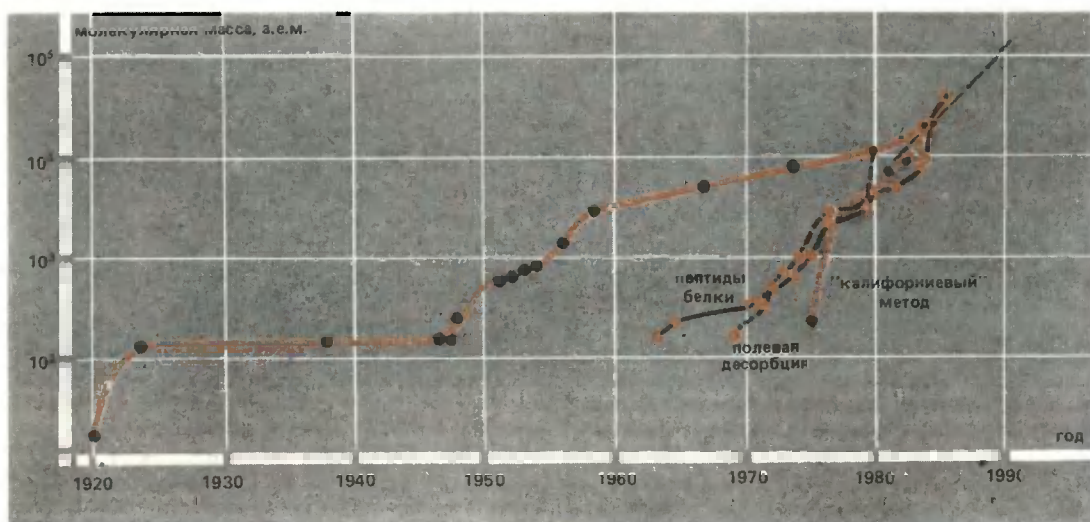
Исследуя изотопный состав элементов, Астон вводил в газоразрядный источник ионов своего прибора и пары органических соединений. Он писал в связи с этим: «Если рассматривать газовый разряд только как средство для открытия и идентификации изотопов, то он имеет тот недостаток, что, помимо атомных линий, дает дополнительно большое количество молекулярных линий, которые хотя и дают возможность дополнительных проверок, но в общем только путают картину и осложняют ее интерпретацию»². Итак, на заре масс-спектрометрии, когда решались другие вопросы, молекулярные ионы только мешали работать! Но, как бы то ни было, в снятых в 1919—1921 гг. масс-спектрах метана и иоди-стого метила присутствуют пики молекулярных ионов, и с масс этих простейших органических молекул (16 и 142 соответственно) начинается, собственно, отсчет РММ.

В последующие несколько десятилетий изотопный анализ продолжает составлять область широкого приложения масс-спектрометрии, но уже не единственную. Начиная с середины 20-х годов стали проводиться детальные исследования ионизации и распада соединений при бомбардировке их электронами. В связи с этим нужно отметить, что ионизация электронным ударом происходила (стихийно) и в газоразрядных трубках Астона. Позднее были разработаны специальные источники ионов, в которых газ ионизовался сфокусированным пучком электронов, эмитированных раскаленным катодом. До второй мировой войны изучались довольно несложные соединения, с небольшими массами, и лишь однажды, в 1938 г., начальные РММ были превышены (CCl_4 , 152).

В 40-е годы появляются первые коммерческие масс-спектрометры, метод начинает использоваться в молекулярном и прежде всего в количественном анализе образцов природного газа и легких фракций нефти. В рамках исследовательских проектов Американского нефтяного института и Национального бюро стандартов США происходило интенсивное накопление масс-спектров индивидуальных органических соединений. К 1946 г. бюро стандартов имело уже 79 углеводородов в качестве стандарт-

¹ В 1924 г. Ф. Астон был избран иностранным членом-корреспондентом Российской академии наук. Небезынтересно отметить, что 96 % его научных статей написаны без соавторов.

² Астон Ф. В. Масс-спектры и изотопы. М., 1948. С. 68.



Хронологический рост рекордной молекулярной массы (РММ) — цветная кривая. Она демонстрирует абсолютные рекорды масс-спектрометрии. Представляют интерес и «частичные» рекорды — те или иные максимальные молекулярные массы, воспроизведенные либо с использованием различных способов ионизации, либо в случае соединений одного типа. Изображены кривые хронологического изменения трех таких частных рекордов — для двух способов ионизации и вещества белково-пептидной природы.

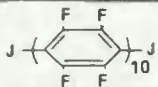
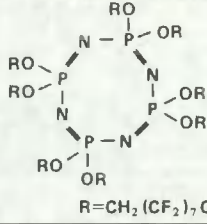
ных образцов для калибровки масс-спектрометров. Постепенный «просмотр» нескольких классов углеводородов и их простых производных сопровождался довольно быстрым ростом РММ. В 1952 г. наиболее тяжелые из исследованных веществ, дававших молекулярные ионы, вывели РММ за границу 500 (507 — у $C_{36}H_{74}$, 512 — у $C_{11}F_{20}$).

В 50-е и 60-е годы масс-спектрометрия была опробована уже почти на всех классах органических соединений, и, как результат, достоинства и недостатки метода проявились особенно четко. Одними из наиболее принципиальных оказались ограничения, связанные с недостаточной летучестью вещества. Давление пара анализируемого вещества в источнике ионов с электронным ударом должно быть порядка 10^{-5} – 10^{-7} гПа. Большинство органических соединений имеет меньшее собственное давление пара, а при попытке его повысить путем нагрева подвергается термическому разложению. Летучесть вещества ограничивается взаимодействием между его молекулами в жидкой или твердой фазе. Сила такого взаимодействия растет, во-первых, при появлении в молекуле полярных групп типа $—OH$, $—CO—$, $—COOH$, $—CONH_2$ и других, во-

вторых, вместе с размером (массой) молекулы (при аналогичном строении). Таким образом, закономерное уменьшение летучести по мере роста размеров молекул сдерживало повышение возможностей масс-спектрометрии, выраженных в РММ. (Аппаратурные факторы, связанные с ограниченным диапазоном измеряемых масс на коммерческих приборах, сказывались, по-видимому, в меньшей степени). Увеличение же РММ вплоть до начала 70-х годов происходило за счет наиболее летучих органических соединений (фторорганических) с относительно слабыми межмолекулярными связями.

На другом конце «шкалы летучести» находятся многофункциональные соединения с гораздо более сильно взаимодействующими полярными и даже заряженными группировками ($—N^+H_3$, $—COO^-$) — пептиды и белки. Для нас они представляют особый интерес — с ними связаны последние рекорды масс-спектрометрии. Но долгое время пептиды, не говоря уже о белках, считались едва ли не наиболее «трудными» объектами масс-спектрометрии. К началу 70-х годов лишь у наиболее простых соединений этой природы — дипептидов (два аминокислотных остатка с массой меньше 400) — были обнаружены молекулярные ионы. Да и в этих случаях испарение сопровождалось интенсивным термическим разложением.

Повышение летучести пептидов с целью проведения их масс-спектрального анализа достигают введением в их молекулы углеводородных и некоторых других малополярных группировок, ослабляющих

год	структура	PMM
1955		1734
1966		3628
1972	$\text{X} \left(\text{N} - \text{OCF}_2\text{CF}_2 \right)_n \text{Y}$ CF_3 $\text{X} + \text{Y} = \text{C}_3\text{F}_7\text{NO}$	6368

Фторорганические полимеры — «рекордсмены» масс-спектрометрии 50—70-х годов.

межмолекулярные взаимодействия³. В определенной степени это выход из положения: можно уже изучать пептиды с массой до 1000—1500, но вряд ли значительно более тяжелые. И другое ограничение. Если изучаются соединения, о строении которых имеются ограниченные сведения, то их химическая модификация может привести к веществам еще более неопределенного строения. В результате расшифровка масс-спектров окажется очень сложной. Предпочтительно, конечно, вводить в масс-спектрометр исходные соединения в неизменном виде. Для этого нужны методы прямой ионизации твердых и жидких органических соединений, устраняющие промежуточную стадию термического испарения. Такие методы были введены в практику масс-спектрометрических лабораторий в 70-х годах.

ИГЛЫ И НИТИ ВМЕСТО ЭЛЕКТРОНОВ

В 1928 г. Р. Оппенгеймер предсказал эффект ионизации свободных атомов в сильном электрическом поле (порядка 10^8 В/см). Почти через четверть века,

в 1951 г., Э. Мюллер на основе этого явления создал первый полевой ионный микроскоп⁴. В этом приборе водород или инертные газы ионизируются в сильном поле, создаваемом на острие металлических игл (полевых эмиттеров), и пучок соответствующих ионов попадает на флуоресцентный экран, создавая изображение поверхности металла. Достижимое разрешение столь велико, что позволяет наблюдать отдельные атомы. В 1954 г. М. Ингрэм и Р. Гомер соединили такого рода источник ионов с масс-спектрометром, дав начало полевой масс-спектрометрии, развитой в дальнейшем прежде всего работами Х. Беки и его школы в Институте физической химии Боннского университета.

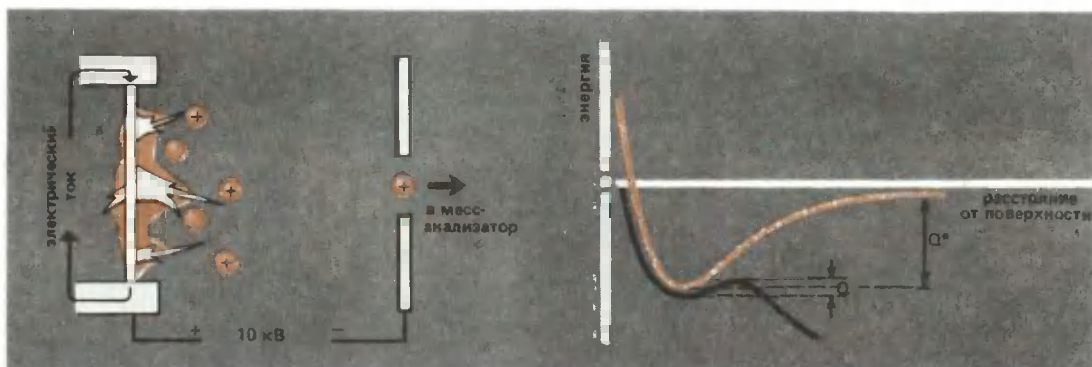
Полевые масс-спектры органических соединений содержат, как правило, меньше линий осколочных ионов и более интенсивные линии молекулярных ионов, чем спектры, полученные при электронном ударе. Но главное достоинство метода ионизации в поле выявилось по мере усовершенствования его техники. Для повышения эффективности ионизации вместо игл стали использовать тонкие металлические нити, а позднее — нити, покрытые микроиглами. Такие эмиттеры обладают большой удельной поверхностью, что и привело Беки в 1969 г. к мысли прямо наносить на них исследуемые образцы⁵. До этого пары исследуемых веществ, как и при традиционной ионизации электронным ударом, вводились извне. При этом требуется гораздо более сильный нагрев образца для создания той же концентрации молекул в области сильно-го поля.

Так в органической масс-спектрометрии появился метод «полевой десорбции», с успехом испытанный сразу же на глюкозе — соединении, разлагающемся при нагреве. В дальнейшем полевая десорбция стала использоваться для получения масс-спектров многих малолетучих термически нестабильных соединений самых разных классов и групп. Для нас особенно важно, что стали быстро расти размеры успешно исследованных немодифицированных пептидов. Если в 1972 г. рекордным был пентапептид, то в 1979 г. японскими масс-спектрометристами, работавшими с эмиттерами нового типа, были впервые зарегистрированы молекулярные ионы полипепти-

³ Масс-спектрометрию для определения аминокислотной последовательности пептидов одними из первых успешно применили М. М. Шемякин и Ю. А. Овчинников в Институте химии природных соединений (сейчас — Институт биоорганической химии) АН СССР в 60-х годах.

⁴ См.: Лауреаты Нобелевской премии 1986 года. По физике — Э. Руска, Г. Биннинг, Г. Рорер // Природа. 1987. № 1. С. 100—104.

⁵ Beckey H. J. // Int. Mass Spectrom. and Ion Phys. 1969. Vol. 2. P. 500—503.



Схематическое изображение источника ионов с полевой десорбцией — слева. На тонком нитивидном эмиттере (диаметром 10 мкм) предварительно формируют углеродистые микроглы длиной до 50 мкм. Между эмиттером, который служит анодом, и катодом приложено высокое напряжение, создающее сильное электрическое поле. Нагрев эмиттера током стимулирует диффузию и испарение молекул адсорбированного на эмиттере вещества (показано цветом) к острым игл — зоне эмиссии ионов. Ионы могут

образовываться при переходе электронов из молекул в эмиттер или путем присоединения к молекуле протона или катодона металла. Поле облегчает десорбцию ионов второго типа. На рисунке справа изображены кривые потенциальной энергии иона вблизи поверхности образца в отсутствие сильного электрического поля (цветная кривая) и в его присутствии; Q и Q' соответственно энергии десорбции ионов без поля и с полем.

да с массой 2541, состоящего из 27 аминокислот. Одновременно ими же был установлен и абсолютный рекорд — с более летучим (точнее, менее нелетучим) полимером — полистиролом. Достигнутое значение РММ составило примерно 10 500, что отвечает молекулам со ста мономерными звеньями.

Последние, совсем недавние рекорды масс-спектрометрии обязаны своим появлением ядерной физике.

В ТЕХАСЕ СТРЕЛЯЮТ ИЗ... КАЛИФОРНИЯ

Довольно давно известна эмиссия заряженных частиц — атомарных ионов — с поверхности твердых тел при ее бомбардировке быстрыми ионами или атомами. Однако приспособить вторичную ионную эмиссию для целенаправленного получения масс-спектров сложных органических соединений удалось сравнительно недавно. Оригинальный вариант вторичной эмиссии, который можно считать и самостоятельным способом ионизации, создан в Техасском университете Р. Макфарлейном с сотрудниками.

Все началось в конце 1972 г. при изучении радиоактивного распада искусственных короткоживущих изотопов, локализованных на тонкой пластинке. Продукты ядерных превращений в виде ионизованных атомов в момент распада десорбировались с пластинки, и их регистрировали с помощью

масс-спектрометра. Наряду с «нужными» ионами были, однако, обнаружены и такие, которые отвечали примесям в материале подложки, загрязненным на ее поверхности. Исследователи переключились на изучение этого эффекта. Побочные сигналы в итоге приписали ионизации примесей под действием излучения присутствующих неустойчивых ядер. В модельных экспериментах с α - и β -источниками явление хорошо воспроизводилось и, более того, значительно усиливалось в присутствии за подложкой другого радиоактивного источника — изотопа калифорния ^{252}Cf .

Калифорний — молодой элемент. Первый его изотоп с массой 245 был синтезирован Г. Сибгоргом с сотрудниками в 1950 г. при облучении α -частицами другого искусственного элемента — кюрия. Изотоп ^{252}Cf был открыт в США в 1952—1953 гг. в следах радиоактивного облака термоядерного взрыва. Позднее его стали получать в современных атомных реакторах при облучении нейтронами изотопов тяжелых элементов — плутония, кюрия. Это сделало доступным калифорниевые радиоактивные источники, широко применяемые сейчас для получения нейтронов. Нейтроны появляются в результате спонтанного деления ядер ^{252}Cf , осколки которых в виде тяжелых многозарядных ионов пробивали подложку в описанных выше опытах и приводили к эффективной эмиссии вторичных ионов.

Макфарлейн не только установил при-

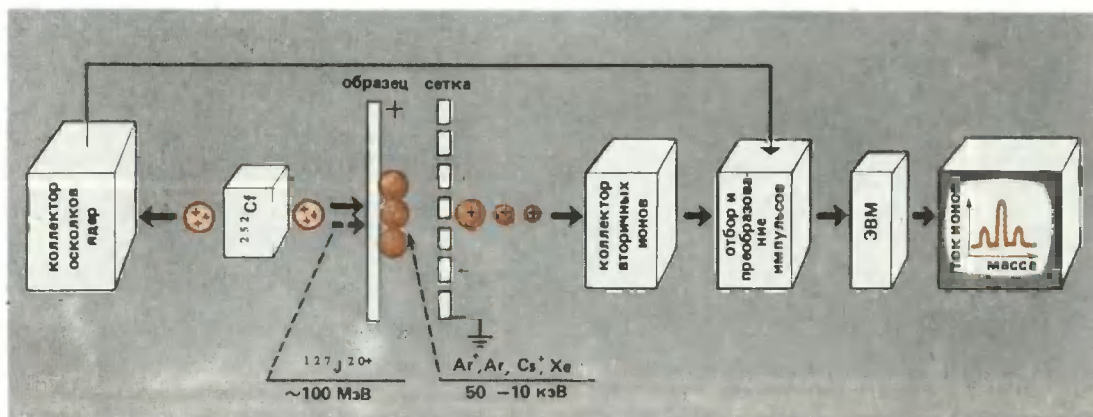


Схема «калифорниевского» масс-спектрометра. Образец «обстреливается» осколками ядер от источника ^{252}Cf с частотой порядка 2000 с^{-1} ; поверхностная зона возбуждения образца составляет около 100 нм^2 . Разделение десорбированных ионов происходит за счет различного времени пролета между сеткой и коллектором. Регистрируемые импульсы накапливаются в памяти ЭВМ (время накопления от нескольких минут до нескольких часов). Пути и в том показано направление бомбардировки образца при использовании других вариантов вторичной ионной эмиссии (с указанием вида ионов и их энергии).

роду явления, но и стал использовать «калифорниевый» метод для получения масс-спектров различных биосоединений, специально наносимых на тонкую пластинку. В 1974 г. появилась первая статья⁶, где были описаны результаты исследования термически наиболее неустойчивых аминокислот цистина и аргинина. В 1975—1976 гг. зафиксированы молекулярные ионы у целой группы биологически важных соединений, самым тяжелым из которых был рекордный в то время полипептид — антибиотик грамицидин А (масса 1895), состоящий из 15 аминокислотных остатков. Затем техасская группа приняла участие в определении структуры нескольких новых биовеществ и продемонстрировала возможности «калифорниевского» метода в измерении больших молекулярных масс на примере нейрорепептида эндорфина (рекордный в 70-х годах полипептид с массой 3464) и полинуклеотидов с массами 5000—7000 (1980—1982 гг.).

В этих работах использованы не ограничивающие диапазон определяемых масс времяпролетные масс-анализаторы, в том числе в усовершенствованном варианте Б. А. Мамырина (Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе АН СССР).

МИШЕНЬ — БЕЛОК

По маршруту, проложенному Макфарлейном, пошли и другие физики. В 1983 г. насчитывалось уже 10 групп (4 — в США, 5 — в Европе, 1 — в Шри-Ланке), работающих в области «калифорниевой» масс-спектрометрии. Наибольших успехов добились шведские физики из университета г. Упсала. В качестве «пуля» они использовали не только осколки ядер ^{252}Cf , но и тяжелые многозарядные ионы с той же энергией (около 90 МэВ), пучок которых выводили из тандемного ускорителя. В 1982 г. шведские исследователи вместе с Макфарлейном сообщили о том, что ими впервые зарегистрированы молекулярные ионы белка — инсулина (гормона поджелудочной железы, регулирующего метаболизм углеводов)⁷.

В начавшуюся «гонку за белками» (см. табл.) включились и масс-спектрометристы, использующие метод бомбардировки быстрыми атомами (ксенона, в этих случаях). К сходным результатам приводит обстрел атомарными ионами (кинетические энергии атомов и ионов 5—10 кэВ), но применение нейтральных частиц методически удобнее.

В 70-х годах эти традиционные вариан-

⁶ Torgenson D. F., Skowronsky R. P., Macfarlane R. D. // Biochem. Biophys. Res. Commun. 1974. Vol. 60. P. 616—621.

⁷ Hakansson P. et al. // J. Amer. Chem. Soc. 1982. Vol. 104. P. 2948—2949.

Дата и авторы публикации	Белок	Молекулярная масса* (число аминокислотных остатков)	Точность измерения массы	Удаляющая частица
Май 1982 г., Б. Сундквист, Р. Макфарлейн и др.	инсулин быка	5733 (51)	—3	J20+
Июнь 1982 г., А. Делл, Х. Р. Моррис	монеллин	5831 (50)	+5	Хе
Декабрь 1982 г., Х. Р. Моррис	фрагмент миоглобина	6212		Хе
Январь 1983 г., Б. Сундквист и др.	нейротоксин кобры	7821 (71)	+(30—40)	осколки ^{252}Cf , J20+
Февраль 1983 г., М. Барбер и др.	проинсулин человека	9389 (86)	+0,3	Хе
Май 1983 г., Б. Сундквист и др.	нейротоксин тигровой змеи	13 309 (119)	—24	осколки ^{252}Cf
Сентябрь 1983 г., Б. Сундквист и др.	фосфолипаза А ₂ свиньи	13 980 (124)	—12	осколки ^{252}Cf , J20+
Ноябрь 1984 г. Б. Сундквист и др.	трипсин свиньи	23 463 (~250)	—57	осколки ^{252}Cf

* Здесь для большинства белков указаны средние молекулярные массы, учитывающие естественное содержание изотопов ^2H , ^{13}C , ^{15}N и т. п. У этих соединений средняя масса отличается от так называемой «моноизотопной» (вклад только основных изотопов ^1H , ^{12}C , ^{14}N и др.) на несколько а. е. м.

ты вторичной ионной эмиссии довольно медленно входили в масс-спектрометрию малолетучих органических соединений. Следует отметить, по-видимому, лишь работы А. Беннингховена (ФРГ) по низкомолекулярным природным соединениям и Г. Д. Танцырева (Институт химической физики АН СССР) по анализу полимеров. При интенсивной бомбардировке (условие максимальной чувствительности) пленки анализируемых образцов довольно быстро разрушались, и масс-спектры можно было регистрировать лишь в течение очень короткого времени.

К 1981 г. было обнаружено, что масс-спектры длительное время (десяти минут) стабильны, если бомбардировке подвергаются не индивидуальные соединения, а их растворы в малолетучих жидкостях (матрицах), например в глицерине. Это открытие вызвало взрывной рост числа работ по масс-спектрометрии с бомбардировкой быстрыми атомами, в том числе применительно к пептидам и позднее к белкам. В 1984 г. молекулярные массы инсулина четырех различных животных воспроизведены с точностью до 0,01—0,11. Сейчас вто-

ричная ионная эмиссия из жидких матриц — наиболее популярный метод ионизации нелетучих термически неустойчивых соединений. Существенно, что требуемая аппаратура гораздо проще и доступнее, чем в случае «калифорнийского» и «ускорительного» методов.

Однако наиболее тяжелые молекулярные ионы зарегистрированы все-таки при использовании калифорния. Массы трех последних белков в приведенной выше таблице не только максимальны для соединений пептидной природы, но и представляют собой последние рекорды масс-спектрометрии. Точность определения масс в этом диапазоне пока не так высока (отклонение от номинальных значений около 0,2 %), как у легких соединений, однако она в 100 раз больше, чем у других, отличных от масс-спектрометрии методов определения молекулярной массы белков, таких как гель-хроматография и гель-электрофорез.

Это представляет удивительным — перевести неразрушенные молекулы белка, даже небольшую их часть (в первых опытах с инсулином приблизительно каждая

тысячная «пуля» выбивала один молекулярный ион), из конденсированной фазы, обычного для белков состояния, в газовую фазу (в ионизированной форме, разумеется). Действительно, оценим энергетику процесса. Сублимация аминокислот требует примерно 100 кДж/моль (24 ккал/моль). Молекула фермента фосфолипазы, предпоследнего «рекордсмена», содержит 124 аминокислотных остатка, так что теплоту ее сублимации, пользуясь приблизительным правилом аддитивности, можно грубо оценить в $1,24 \cdot 10^4$ кДж/моль. Это существенно больше обычных значений энергий разрыва химических связей (400 кДж/моль). Таким образом, несмотря на огромный запас энергии у бомбардирующих частиц (кинетическая энергия каждой 10^4 — 10^8 эВ, или в расчете на количество частиц, равное числу Авогадро, 10^6 — 10^{10} кДж), следовало, казалось бы, ожидать распад больших биомолекул и десорбцию фрагментов, а не молекулярных ионов.

Почему же выживают покидающие поверхность частицы? Предложен такой механизм. И возбуждение твердых пленок в результате их «прострела» тяжелыми многозарядными ионами, и соответствующие процессы при прямой бомбардировке поверхности твердых и жидких образцов атомами и однозарядными ионами меньших энергий, сильно различаясь между собой на начальных стадиях, приводят в итоге к тому, что в небольшой приповерхностной области развиваются очень высокие температуры, порядка 10^4 К. Но это «горячее пятно» существует лишь очень короткое время (10^{-12} — 10^{-10} с), и происходящие в нем процессы носят сугубо неравновесный характер. Частицы, находящиеся на поверхности, получают большую поступательную энергию и, десорбируясь, не успевают накопить необходимую для распада внутреннюю энергию. Модельные расчеты, проведенные, правда, для небольших молекул, подтверждают такого рода соображения.

Нетрудно предположить, что граница 24 000 в РММ будет скоро преодолена. Если сохраняются темпы возрастания молекулярных масс, определяемых «калифорниевым» методом, то к 1990 г. РММ могут быть в районе 80 000—100 000! И еще одно обстоятельство. Заряженные частицы с массой, превышающей 25 000, уже обнаружены в недавних экспериментах. Это комплексные, «сверхмолекулярные» ионы. Так, белки дают заряженные комплексы, состоящие из двух (масса 28 000 у фосфолипазы) и более молекул. В газовой фазе можно получить и зафиксировать огромные комп-

лексы из молекул воды — с массой до 60 000. Вторичная ионная эмиссия из пленок соли CsI позволяет обнаружить частицы состава $[Cs+Cs]^+$ с массой до 90 000. Следовательно, если такие же тяжелые молекулярные ионы удастся извлечь с поверхности образца, то зарегистрировать их вполне реально.

Возможно, будущие рекорды связаны с другими методами ионизации, здесь не рассмотренными. Весьма перспективным выглядит использование такого явления, как распыление жидкости (растворов) в сильном электрическом поле. Различные масс-спектрометрические варианты электрораспыления разработаны в нашей стране⁸.

Подведем итоги. Мы заглянули в историю масс-спектрометрии и проследили, как внедрение новейшей экспериментальной техники приблизило этот метод к недоступным для него ранее соединениям. Прогресс связан главным образом с новыми методами ионизации. Совершенствование масс-анализаторов, пожалуй, в последние годы оставалось в тени, но сейчас и здесь имеются сдвиги. Улучшается разрешение масс-спектрометров при измерении больших масс, расширяется диапазон определяемых масс (до 10 000—15 000) в магнитных и другого типа приборах без потери разрешения и чувствительности.

Необходимо сказать (иначе может сложиться искаженное представление), что рассмотренные достижения масс-спектрометрии связаны с исследованиями, как правило, модельных соединений, и эти исследования с применением новых методов проводятся еще небольшим числом лабораторий. Многие в ближайшем будущем еще предстоит сделать (в том числе отечественным приборостроительным организациям), чтобы новая техника стала широко применяться в повседневной практической работе большинства масс-спектрометристов. К тому же пока далеко не в полном объеме ясны аналитические возможности методов прямой генерации ионов из твердых и жидких образцов — они прошли лишь начальный этап своего развития и применения. Однако, возвращаясь к достигнутым результатам, мы понимаем, что у масс-спектрометра значительно выросли шансы стать необходимым инструментом биоорганической и биологической химии, молекулярной биологии и других смежных наук.

⁸ См.: Мильман Б. Л. // Журн. аналит. химии. 1986. Т. 41. С. 1934—1964.

ДАЛЬНОСТЬ ПОЛЕТА ОСЫ

В. М. Карцев,
кандидат биологических наук
Москва



Оса полист на
кормовом участ-
ке.

КРЫЛАТЫЕ общественные насекомые, добывая корм, строительный материал и воду, осваивают огромное по сравнению с собственными размерами пространство вокруг гнезда. Семья медоносных пчел, например, в листопадных лесах умеренной зоны собирает 95 % корма в радиусе 6 км от улья¹. У пчел и вне гнезда сильны социальные связи (в частности, они маркируют локальный источник богатого запаха запахом специальной железы), поэтому изучение ориентации пчел неразрывно связано с изучением взаимодействия особей на кормовом участке. Иное дело у общественных ос: действия каждого фуражира у них при поисках корма в достаточной мере независимы. Как же они ориентируются на своем участке? Нас всегда удивляло, с какой скоростью осы, прилетевшие на приманку и помеченные там, вновь находят эту приманку, от-

несенную от прежнего места на 10—15 м. Однако проследить за поведением меченой осы на кормовом участке с момента выхода ее из гнезда очень сложно — слишком быстро и далеко летают осы.

Итальянский исследователь А. Уголини, изучающий ориентацию наиболее обычных для его родины общественных ос полистов (*Polistes gallicus*), поступал следующим образом². В случайных направлениях и на разные расстояния от гнезда он переносил индивидуально помеченных особей — рабочих (имевших навык фуражировки) и способных к размножению оплодотворенных самок (их в гнезде полистов может быть несколько), а затем регистрировал число вернувшихся ос и время возвращения.

Ос относили максимально на 2 км, и с этого расстояния возвращалось около 30 % самок. Все рабочие особи в 2 км

от гнезда пропадали, однако с расстояния в 1,5 км возвращалось 30 %. Вообще число возвращавшихся особей линейно убывало по мере увеличения расстояния; с 50 м возвращались почти все осы. Трудно сказать, почему ориентация полноточных в половом отношении самок оказалась совершеннее, чем ориентация рабочих: то ли за счет лучше развитого мозга и зрения, то ли за счет большего индивидуального опыта, приобретенного при поисках мест для зимовки и строительства гнезда.

Следующие эксперименты Уголини убеждают, что каждая имеющая опыт внегнездовой деятельности оса действительно хорошо знает местность вокруг гнезда. Во-первых, на возвращении ос мало влиял способ их переноски — в прозрачных плексигласовых садочках или в полной темноте. Во-вторых, при перемещении гнезда на новое отдаленное место ни одна оса с расстояния в 1 км домой не вернулась, даже если ее относили в прозрачном садочке, чтобы она могла видеть дорогу. Однако четырех часов осам было вполне достаточно для изучения новой местности: они возвращались с перемещенных гнезд с расстояния в 1 км не хуже, чем в гнезда, находившиеся на одном месте с момента их основания. При этом скорость возвращения зависела от того, сколько всего времени провел фуражир вне гнезда на новом месте, и не зависела от числа вылетов.

Эти данные свидетельствуют, сколь эффективно осваивают пространство летающие общественные насекомые: за несколько часов они запоминают местность в радиусе, который в несколько тысяч раз превышает длину их тела, причем способны найти дорогу домой из произвольно выбранной точки.

¹ Vissher P. K., Seely T. D. // Ecology. 1982. Vol. 63. № 6. P. 1790—1801.

² Ugolini A. // Monitore zoologico italiano. 1986. Vol. 20. № 1. P. 1—15.

ГЛОБАЛЬНЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ АНО



Сергей Германович Неручев, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий отделом Всесоюзного нефтяного научно-исследовательского геологоразведочного института. Член Научного совета АН СССР по проблемам геологии и геохимии нефти и газа, а также Научного совета АН СССР по проблемам биосферы. Специалист в области геологии нефти и газа, органической геохимии. Автор ряда монографий, в том числе: *Уран и жизнь в истории Земли*. Л., 1982.

С XIX в. после работ Ч. Лайеля надолго утвердилась идея о значительном сходстве, если не тождестве, геологических условий и процессов в современную и древние эпохи (принцип актуализма) и о крайней медленности и постепенности их изменений в ходе геологического времени. Ч. Дарвин, как известно, также представлял себе процесс эволюции органического мира текущим медленно и постепенно.

Накопление огромного фактического материала и его анализ привели в наше время к отказу от принципа актуализма. Стало ясно, что Земля в целом, все геологические и геохимические условия и процессы на ней испытывали необратимую направленную эволюцию, на фоне которой проявлялись периодические, на отдельных этапах довольно быстрые, изменения геологических и геохимических условий.

Многолетние палеонтологические исследования приносили все новые факты о реальности направленной и необратимой эволюции органического мира, а вместе с тем и о ее неравномерности, проявившейся в целом ряде крупных биотических событий. Однако появлявшиеся иногда отдельные высказывания на эту тему не находили понимания и сочувствия в научном мире, ибо казались возрождением давно осужденной и отвергнутой идеи Ж. Кювье о необъяснимых, чуть ли не мистических, переворотах в органическом мире Земли.

И все-таки, когда фактов накопилось очень много, на основе их обобщения один из наиболее авторитетных палеонтологов Б. С. Соколов, наконец, твердо заявил, что палеонтология отвергает представления о постепенной эволюции органического мира и вместе с тем показывает единство и взаимную зависимость развития жизни и среды обитания¹.

Так, может быть, не нужно еще и еще раз пытаться опровергнуть многочисленные факты, а стоит поискать им объяснение с позиций современной науки?

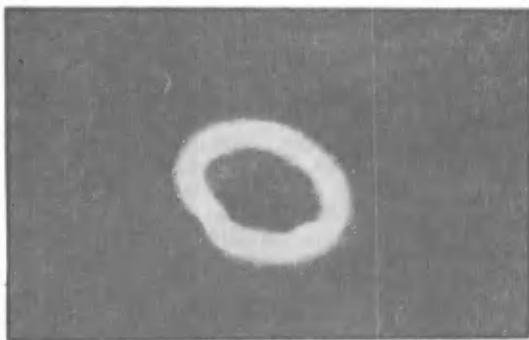
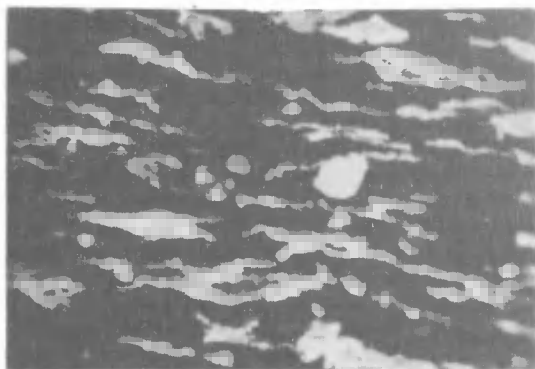
Сейчас уже не вызывает сомнения, что овладевший ядерной энергией человек разумный, если ему все-таки не хватит разума, способен вызвать катастрофический кризис в биосфере. Но не могли ли периодические изменения космических, геологических или геохимических условий вызывать биосферные кризисы в геологическом прошлом Земли?

К этому вопросу автора привело изучение органического вещества осадков. С них и следует начать.

¹ Соколов Б. С. // Вестник АН СССР. 1976. № 1. С. 126—143.

МАЛИИ И БИОСФЕРНЫЕ КРИЗИСЫ

С.Г. Неручев



Акритарии, синезеленые и зеленые водоросли — основные биопродуценты в сапропелевых ураноносных осадках различного возраста. Благодаря высокому содержанию образовавшихся из липидов битуминозных веществ и углеводов они создают под люминесцентным микроскопом в отраженном свете ярко-желтое свечение. Слева: светящиеся мелкие округлые формы — акритарии, вытянутые ленточные — синезеленые водоросли (нижний ордовик); справа: люминесцирующая оболочка зеленой водоросли (эоцен). Увел. в 180 раз.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ В ДРЕВНИХ ОСАДОЧНЫХ ТОЛЩАХ

Давно известно, что в многокилометровых древних осадочных толщах кое-где встречаются специфические, сравнительно тонкие (обычно 30—50 м) слои, богатые планктогенным органическим веществом и почти всегда — ураном и рядом других металлов. Попытки разных исследователей понять условия их образования ни к чему не приводили. Дело в том, что обилие органического вещества в этих слоях сопровождается необычайной бедностью видового состава фитопланктона, в основном мельчайших синезеленых водорослей — цианобактерий. Фауна в этих слоях обычно отсутствует, а, если и многочисленна, то также ущербна в отношении видового разнообразия.

Что-то должно было случиться при накоплении этих осадков. Но что? Может быть, причиной их необычности стала высокая концентрация урана и других радиоактивных элементов, которые, как теперь хорошо известно, интенсивно воздействуют на все живое?

Помимо органического вещества и урана в осадках много ванадия, молибдена, меди, цинка, никеля, хрома, свинца, рения, серебра, золота, мышьяка, фосфора, серы и редкоземельных элементов (в основном лантана, церия, празеодима, неодима, самария, иттрия, иттербия), а в последние годы в некоторых осадках установлены повышенные содержания иридия и осмия. Кроме того, эти довольно тонкие слои осадков занимают в мощных осадочных толщах не случайное, а вполне определенное положение. Следовательно, в строго определенных, довольно короткие отрезки времени они накапливались в самых разных районах мира, зато в другие, значительно более продолжительные, эпохи, такие осадки не образовывались нигде.

Первое же знакомство с палеонтологическими материалами еще в 1973 г. подтвердило наше предположение, что при накоплении этих осадков, концентрация урана в которых в десятки, сотни, а иногда и тысячи раз превышает норму, происходили значительные изменения в органическом мире.

Выяснилось и еще одно интересное обстоятельство: эти аномально богатые ураном осадки приурочены к границам крупных

подразделений геохронологической шкалы, которые, как известно, были выделены палеонтологами и стратиграфами по существенным и сравнительно быстрым изменениям фауны и флоры. О повышенной радиоактивности пограничных осадочных слоев, в которых происходит смена фауны, палеонтологи не подозревали, а некоторые не подозревают и до сих пор.

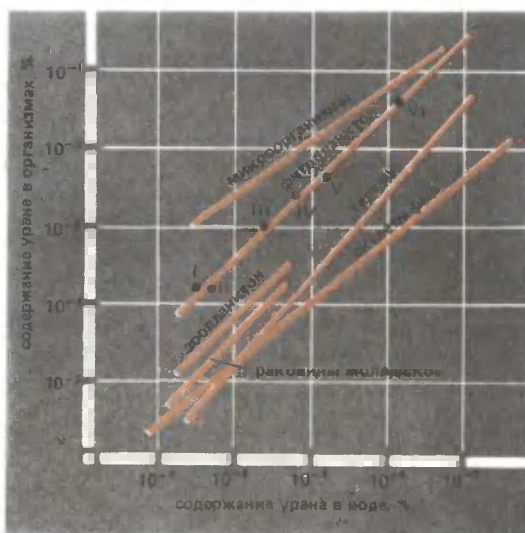
В 1980 г. на одном из ранее выявленных нами уровней геохимических аномалий — на границе мезозоя и кайнозоя (65 млн лет назад) Л. Альваресом и его коллегами было установлено глобальное повышение концентрации иридия². В последующем было выявлено еще несколько глобальных иридиевых аномалий — на границе венда и кембрия (570—590 млн лет назад), перми и триаса (248 млн лет назад), в туронском ярусе позднего мела (90 млн лет назад), в среднем — позднем эоцене (40 млн лет назад), т. е. во всех случаях точно на тех же геохронологических уровнях, которые были отмечены нами ранее.

Выделенные нами «урановые» геохимические аномалии и «иридиевые» аномалии Л. Альвареса и его последователей до сих пор воспринимаются многими как совершенно независимые. Однако повышение концентрации иридия на тех же стратиграфических уровнях, где находятся обогащенные органическим веществом, ураном и другими металлами осадки, а в ряде случаев непосредственно в этих осадках, свидетельствует, что существует единая система глобальных геохимических аномалий, к которым приурочены крупные изменения в биосфере.

Проявляющиеся в повышенной концентрации урана и других металлов геохимические аномалии наиболее ярко выражены в тех зонах накопления морских и озерных осадков, которые богаты планктонным (оставшимся после вымершего планктона) органическим веществом. Совместно с этим веществом уран и сопровождающие его элементы зафиксированы в осадках. В тех же зонах, где преобладают осадки с низкой концентрацией накопленного органического вещества, геохимические аномалии проявляются в более тонких признаках — в повышенной концентрации иридия и осмия, аномальном изотопном составе кислорода и углерода.

В ряде публикаций нами высказывалось предположение, что причиной возникнове-

ния геохимических аномалий и изменения фауны и флоры было периодическое заражение биосферы ураном и радиоактивными продуктами его распада, а также токсичными и мутагенными металлами в эпохи, отличающиеся высокими скоростями спрединга литосферных плит и интенсивным магматизмом.



Зависимость между накоплением урана фитопланктоном и другими водными организмами и концентрацией урана в водах разных бассейнов. Для фитопланктона показана концентрация урана в его органическом веществе и соответствующая концентрация водорастворенного урана в современных и древних водоемах: I — современный океан, II — юрское море, III — современное озеро, IV — эоценовое море, V — позднечуевское море, VI — раннеордовикское море.

Недавно к аналогичной точке зрения независимо пришла и группа американских исследователей — Дж. Кемпс с соавторами³.

А в 1980 г. Л. Альварес высказал, как мы уже отмечали, смелую и впечатляющую гипотезу, связавшую образование геохимических аномалий и проявление биосферных кризисов с мощными взрывами упавших на Землю крупных астероидов. Каковы же все-таки наиболее вероятные причины этих событий?

² Alvarez L., Alvarez W. et al. // Science. 1980. Vol. 208. № 4448. P. 1095—1108.

³ Campsie J., Johnson G. L., Jones J. B. et al. // Eos. Trans. Amer. Geophys. Union. 1984. Vol. 65. № 45. P. 796—800.

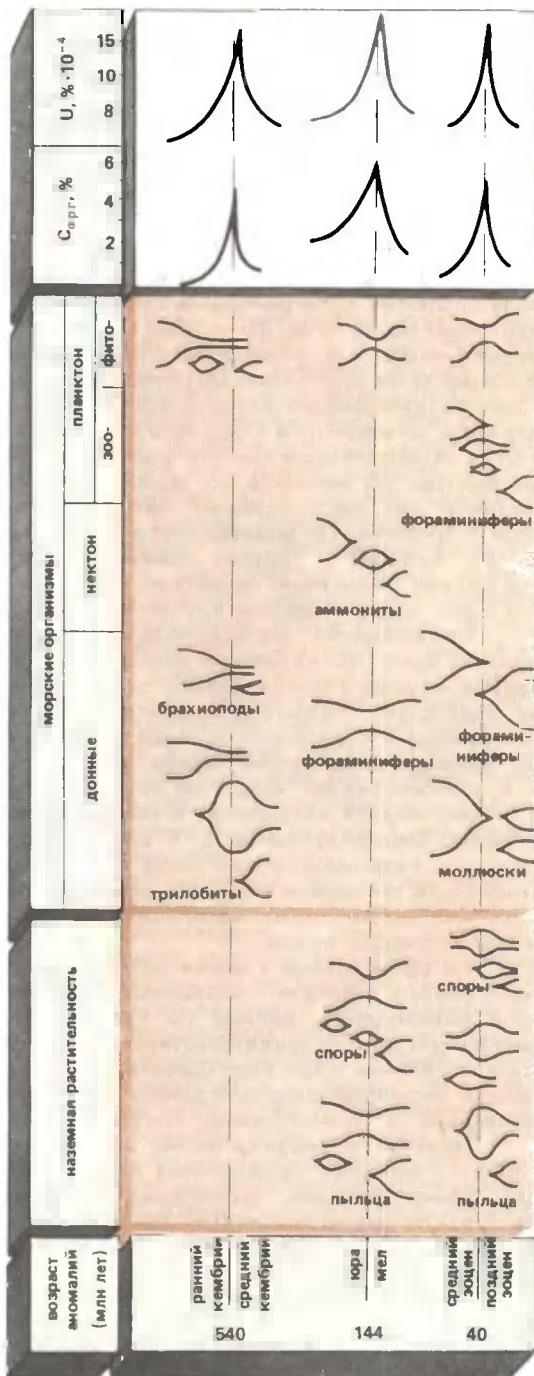
ГИПОТЕЗА АСТЕРОИДНЫХ УДАРОВ: «ЗА» И «ПРОТИВ»

Металлы платиновой группы, в том числе характерные для геохимических аномалий иридий и осмий, содержатся в земной коре в значительно более низких концентрациях, чем в космических телах. Поэтому обнаружение глобально повышенной концентрации иридия (в 20—30 и даже 160 раз выше фона) в пограничном между мелом и палеогеном слое осадка свидетельствует как будто в пользу внеземного, космического источника вещества. Глобальность же аномалии логично объясняется мощным взрывом ударившегося о Землю астероида, подъемом образовавшейся пыли в стратосферу и последующим многолетним выпадением ее по всей земной поверхности. О внеземном источнике материала свидетельствует также повышенная величина отношения $^3\text{He}/^4\text{He}$, а о мощном взрыве — специфические ударные деформации в содержащихся в пограничном слое кристаллах кварца.

Одновременное с этим событием мгновенное вымирание последних позднемеловых видов планктонных организмов (фораминифер и кокколитов) казалось бы говорит о том же: о глобальной катастрофе, вызванной взрывом, затемнением атмосферы, похолоданием и прекращением фотосинтеза.

Так гипотеза Л. Альвареса предстала перед нами оригинально и вполне удовлетворительно объясняющей неизвестное ранее природное явление. Нетрадиционность научного подхода, свежесть мысли и показ значительного влияния на земные события космических факторов вызвали в нашу ядерно-космическую эпоху большую симпатию к новой гипотезе. Но, как не раз уже бывало в науке, одновременно с завершением построения какой-то теории или гипотезы вдруг начали появляться новые факты, ей противоречащие.

Уже через год после публикации первой подробной статьи Альвареса выяснилось, что в Италии иридиевая аномалия имеется не только в пограничном слое, но и на несколько метров ниже и выше него, — это было установлено Ф. Везелем в 1981 г.⁴ Китайские исследователи совсем в другом районе мира обнаружили аналогичный факт: помимо аномалии в пограничном слое осадков повы-



Изменение фауны и флоры в эпохи, характеризующиеся интенсивным накоплением радиоактивных осадков (U) и органики (C_{org}). На цветном фоне показано относительное изменение количества родов морских организмов и семейств наземной растительности.

⁴ Wezel F. C., Vannucci S., Vannucci R. // C. R. Acad. Sci. 1981. T. 293. Sér. 11. P. 837—844.

шенные концентрации иридия имеются как выше, так и ниже по разрезу⁵ (разброс составляет от 5 до 25 м). Следовательно, приняв во внимание скорости накопления осадков, можно утверждать, что иридий периодически накапливался в осадках в конце мела — начале палеогена и длилось это накопление от нескольких сотен тысяч до полутора миллионов лет. Иначе говоря, мгновенного ударного события... не было.

О том же свидетельствуют и данные палеонтологии. С пограничным слоем совпадает вымирание лишь некоторых видов последних меловых фораминифер и кокколитов. Вымирание же других весьма разнообразных групп поздне меловой фауны (рудистов, иноцерамов, аммонитов и т. д.) хотя и происходило в геологическом смысле слова довольно быстро, но началось не менее чем за миллион лет до отложения пограничного слоя с иридием. По справедливому мнению С. М. Стенли⁶ и других палеонтологов, — это служит серьезным свидетельством против идеи удара о Землю крупного болида.

Прекращение фотосинтеза, как это должно было бы случиться после удара и взрыва крупного космического тела, также не произошло. Напротив, в конце мелового периода в ряде районов мира интенсивно накапливалось органическое вещество, т. е. фотосинтез не только не прекратился, а осуществлялся интенсивно и обеспечивал высокую биопродуктивность. В штате Нью-Мексико, например, образование высококалорийного органикой углистого пласта началось именно во время накопления иридия и продолжалось позже.

Не происходило в конце мела и предполагаемого гипотезой Альвареса глобального похолодания. Данные по изотопному составу кислорода свидетельствуют, что во многих районах мира образование геохимической аномалии сопровождалось не похолоданием, а значительным потеплением⁷.

Наличие в геохимических аномалиях наряду с иридием повышенных концентраций урана, ванадия, молибдена, никеля, фосфора и других элементов явно земного происхождения также говорит против космической гипотезы.

Подвело обсуждаемую гипотезу и извержение вулкана Килауэа в 1983 г., показавшее, что из мантии Земли, без какого-

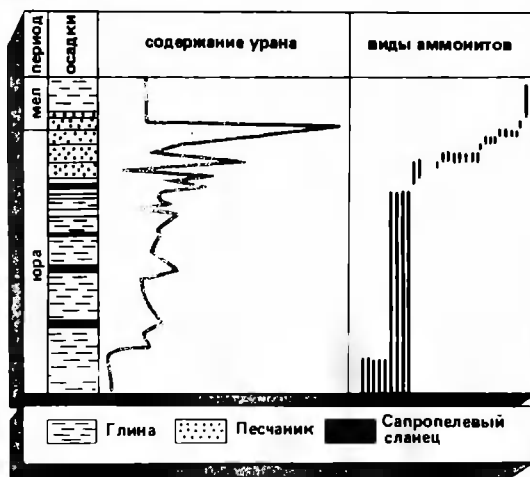
либо участия космоса, вместе с газами даже в наше время могут поступать в большом количестве иридий и другие элементы, характерные для геохимических аномалий. Стало быть, мантия Земли не менее вероятный источник иридия, чем космос.

Повышенные отношения $^3\text{He}/^4\text{He}$, отмеченные в пограничном слое, характерны не только для космического, но и для глубинного мантийного вещества, а деформации в кристаллах кварца могли быть вызваны взрывными явлениями, которые происходят при вулканизме.

Итак, при внимательном рассмотрении всех фактов гипотеза образования геохимических аномалий и проявления биосферных кризисов вследствие удара о Землю крупных астероидов не может быть признана удовлетворительно обоснованной.

РЕАЛЬНАЯ ПРИЧИНА БЫСТРЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В БИОСФЕРЕ

Представление о том, что радиоактивность среды обитания, обусловленная концентрацией урана и других радиоактивных элементов на поверхности Земли, никогда не отличалась от современной, соответствует слишком прямолинейному пониманию принципа актуализма и «здравому смыслу», однако в научном плане оно никогда и никем не было аргументировано. Напротив, все имеющиеся данные говорят совсем о другом.

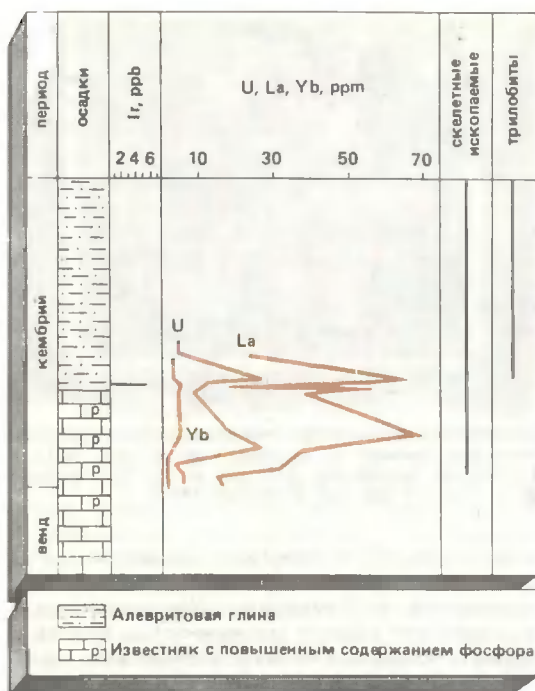


⁵ Sun Vi-Ving et al. // 27-й Междунар. геол. конгресс. Abstracts. Vol. VIII. М., 1984. P. 309.

⁶ Stanley S. M. // Geology. 1984. Vol. 12. № 4. P. 205.

⁷ Romein A. J. T., Smit J. // Geol. en mijnbouw. 1981. Vol. 60. № 4. P. 541—544.

Синхронность изменения интенсивности накопления урана и смены фауны аммонитов в позднеюрскую эпоху на примере стратиграфического разреза в районе г. Ульяновска.



Схема, иллюстрирующая крупное биотическое событие на рубеже венда и кембрия (по данным Зан Кин-Вена и др., 1984). Синхронно с первым пиком накопления урана, фосфора, лантана и других элементов на Земле возникла скелетная фауна, а одновременно со вторым пиком накопления урана, лантана и иридия появились трилобиты.

В ходе геологического времени за 4,5 млрд лет радиоактивность среды обитания уменьшилась в несколько раз, и произошло это вследствие распада радиоактивных элементов. Кроме того, на этом общем фоне происходили периодические изменения радиоактивности среды, которые фиксируются прерывисто-глобальным распространением осадков, обогащенных ураном в десятки, сотни, а иногда и тысячи раз. Радиоактивные осадки в эти эпохи отдельными огромными пятнами площадью от сотен тысяч до 1,5 млн км² покрывали разные районы Земли. Чаще всего слои таких осадков обнаруживаются на месте древних морей и океанов, реже — на континентах, в озерных или речных отложениях. В ряде районов мира встречаются не только богатые ураном осадки, но и крупные осадочные месторождения урана, образовавшиеся в эти же эпохи. Согласно данным Н. П. Лаверова, одновременно сформировались многие эндогенные урановые месторождения.

Некоторые геохимики полагают, что высокорadioактивные осадки накапливались в древних морях и озерах при неизменной, свойственной и современной эпохе, концентрации урана в воде. По их мнению, возникновение высоких концентраций урана приходилось на эпохи интенсивного накопления органического вещества и осуществлялось лишь благодаря восстановительной (сероводородной) обстановке в придонных водах, которая была следствием разложения органического вещества и способствовала осаждению урана. В некоторых случаях сероводородная обстановка действительно возникала, но в таких условиях донная фауна (за исключением сульфатредуцирующих бактерий) существовать не могла, даже если бы в осадках не было высокой концентрации урана. Зато во многих других случаях многочисленная, хотя и очень бедная по видовому составу, донная фауна в высокорadioактивных илах продолжала существовать, т. е. кислородный режим воды у морского дна был нормальным, сероводородное заражение отсутствовало. А уран все-таки накапливался в осадках весьма интенсивно, причем одновременно в самых разных морях, озерах и реках. Следовательно, феномен накопления высоких концентраций урана в богатых органическим веществом осадках далеко не всегда объясняется восстановительной обстановкой в придонных водах, и нужно искать другую, более универсальную причину.

Этой причиной нам представляется прижизненное биохимическое поглощение урана организмами, а затем накопление его в осадках вместе с органическим веществом отмиравших организмов, главным образом фитопланктона. У разных микроорганизмов коэффициент такого биологического накопления урана различен. У фитопланктона он составляет в среднем около 400, а у многих водорослей — превышает 5 тыс.

Из радиобиологии известно, что величина коэффициента биологического накопления радиоактивных изотопов определяется видовой принадлежностью организмов и сохраняется постоянной для широкого диапазона концентраций этих изотопов в воде. По этой причине между концентрацией урана в воде и его накоплением в организмах существует линейная зависимость: возрастание концентрации урана в воде на три порядка обуславливает такое же (на три порядка) увеличение его концентрации в организмах. Следовательно, по концентрациям радиоактивных изотопов в воде можно судить о возможных их концентрациях в организмах, и наоборот — по концентрациям в организ-

мах оценивать их содержание в воде, как это делают радиобиологи, изучая современные моря.

Воспользовавшись этими закономерностями, мы можем подойти к решению следующих вопросов. Во-первых, оценить возможность образования в осадках как обычных (кларковых), так и значительно более высоких, аномальных, концентраций урана, накапливающихся в осадках совместно с осаждающимся планктоногенным органическим веществом. Во-вторых, подойти к приближенной оценке концентрации урана в водах древних морей.

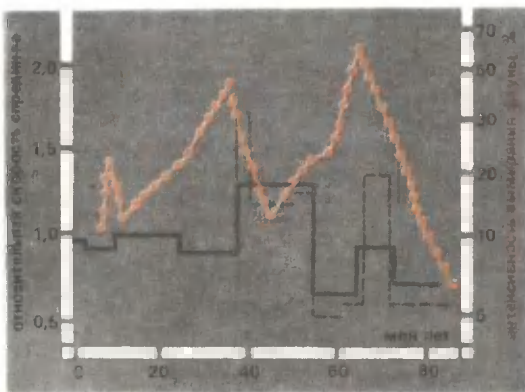
Расчеты показывают, что при обычной концентрации урана в воде ($\sim 3 \cdot 10^{-7} \%$) даже в случае максимальной величины коэффициента его биологического накопления (5 тыс.) концентрация урана в осадке, содержащем 20 % планктоногенного органического вещества, не превысит $3 \cdot 10^{-4} \%$, т. е. обычного фоновое значение. Вместе с тем при концентрации урана в воде в 50—100 раз выше нормы и средней величине того же коэффициента (~ 500) в аналогичном осадке может накопиться до $30 \cdot 10^{-4} \%$ урана.

Наличие линейной зависимости между концентрацией урана в воде и в органическом веществе планктона позволяет сделать вывод, что на протяжении большей части фанерозоя концентрация урана в водах морей была низкой (как, впрочем, и в современную эпоху), в эпохи же формирования ураноносных осадков она повышалась в десятки, а то и сотни раз.

Естественно, что обитавшие в аномально радиоактивных илах сообщества организмов подвергались в течение многих поколений интенсивному ионизирующему облучению. При этом мутагенное воздействие радиоактивных элементов усугублялось присутствием в осадках повышенной концентрации ряда тяжелых металлов.

Судя по тому, что в эти эпохи интенсивные изменения происходили одновременно не только у сообщества организмов, живших непосредственно в радиоактивных илах, но и в толще воды, и у ее поверхности, и даже на суше, повышенная (хотя, конечно, неодинаковая) радиоактивность была свойственна весьма крупным зонам, а может быть и всей биосфере. Первые, пока еще ориентировочные, расчеты возможной концентрации урана в водах морей это подтверждают.

Надо полагать, что именно поэтому эпохи формирования геохимических аномалий в осадках были эпохами быстрого



Зависимость между скоростью спрединга литосферных плит [по данным У. Б. Харленда и др., 1983] и скоростью вымирания морской фауны [по данным Д. М. Раупа и Дж. Дж. Сепкоски, 1984].

многократного возрастания скорости мутационного процесса, быстрых существенных изменений в биосфере. Многочисленные фактические данные это полностью подтверждают, показывая тесную взаимосвязь между накоплением урана и изменениями фауны и флоры.

Последнее изучение радиоактивных осадков показывает, что интенсивность накопления урана существенно менялась со временем, и в соответствии с этим происходили синхронные изменения обитавшей в море фауны. Так, по данным китайских исследователей, значительным изменениям подверглась морская фауна, обнаруженная в радиоактивных осадках на границе венда и кембрия⁸.

Все эпохи интенсивного накапливания урана характеризуются сходными переменами в органическом мире. Типичной для этих эпох чертой является реакция биосферы, выражающаяся в экстремальной биопродуктивности большей части синезеленых водорослей (цианобактерий), наиболее устойчивых к действию радиации. Кстати сказать, экспериментальными исследованиями С. В. Летуновой и В. В. Ковальского установлено, что при возрастании концентрации урана в воде в 3 тыс. раз прирост биомассы некоторых микроорганизмов увеличивается в несколько раз.

Эта вспышка биопродуктивности примитивных форм сопровождалась подавлением жизнедеятельности многих групп более высокоорганизованных животных, времен-

⁸ Zhang Qian-Wen et al. // 27-й Междунар. геол. конгресс. Abstracts. Vol. II. М., 1984. P. 221.

ным исчезновением или вымиранием наиболее чувствительных к радиоактивности компонентов биоценозов и переходом к доминирующему положению немногих видов, наиболее устойчивых к радиоактивному воздействию. Общий результат состоял в обеднении живых природных комплексов, что находится в полном соответствии с известными положениями радиобиологии и радиэкологии. Естественно, что при этом значительно возрастала скорость мутационного процесса, реализовавшегося как в появлении большого количества новых, в основном короткоживущих видов, так и в вымирании ранее существовавших.

В эпохи накопления ураноносных осадков не только резко возрастала изменчивость уже существовавших групп организмов, но и появлялись принципиально новые животные и растения. Например, в радиоактивных отложениях раннего ордовика обнаружены первые позвоночные животные, на границе девона и карбона — первые четвероногие животные суши, в поздней перми и раннем триасе — первые летающие животные — птерозавры, в поздней юре — первые птицы и т. д.

Проявлялись в эти эпохи самые различные, иногда совершенно невероятные мутации, приводившие к возникновению организмов «абсурдного» строения и не имевшие никакого приспособительного значения. На-

пример, в радиоактивных осадках на границе раннего и среднего кембрия среди трилобитов появились агностиды, весьма примитивные по сравнению с ранее жившими формами: у них были полностью редуцированы лицевые швы хитинового панциря (что затрудняло линьку) и исчезли глаза. Вряд ли можно считать, что эти изменения возникли в процессе отбора как полезные признаки.

На границе силура и девона, когда также накапливались радиоактивные осадки, впервые появились древнейшие челюсторотые панцирные рыбы. Так вот, по мнению известного американского палеонтолога А. Ш. Ромера, этим пластинокожам просто нет места в соответствующей эволюционной схеме, их появление представляет собой какой-то нелепый эпизод.

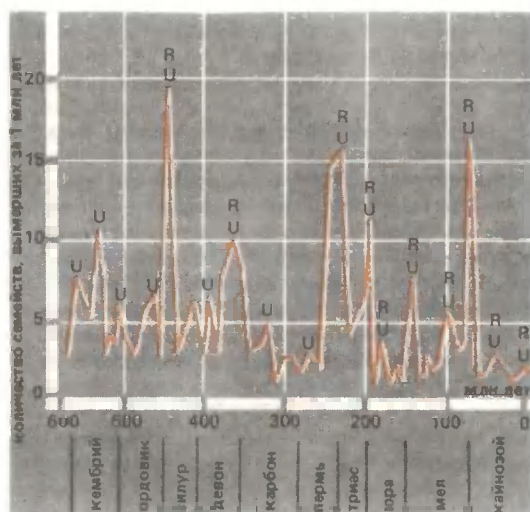
Подобных примеров можно привести множество. Однако за сотни тысяч — миллионы лет воздействия повышенной радиоактивности на всю систему организмов биосферы среди огромного количества бесполезных и даже вредных мутаций безусловно появились и полезные, имеющие приспособительное значение. Возрастание скорости мутационного процесса, появление многочисленных новых видов означало одновременно и усиление естественного отбора. Таким образом, периодически проявлявшиеся эпохи накопления урана играли важную роль в эволюции органического мира.

О ГЛУБИННЫХ ИСТОЧНИКАХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ

Как уже было показано, крайне маловероятным представляется поступление из космоса даже иридия, не говоря уже об уране, ванадии, молибдене и других тяжелых металлах, а тем более — о фосфоре, сере и кремнии, которые в огромных количествах накапливались в осадках во время образования геохимических аномалий.

Альтернативной является высказанная нами, а затем Дж. Кемпси, точка зрения об интенсивном поступлении глубинного вещества при значительном усилении рифтогенеза, магматизма и дегазации Земли.

Еще сравнительно недавно считали, что преобладающая часть накапливающихся в океанах осадков сносится с суши вследствие разрыва континентальной коры. Роль эндогенного — глубинного — источника вещества оценивалась весьма скромно. Про-



Изменение скорости вымирания морской фауны в фанерозое (по данным Д. М. Раупа и Дж. Дж. Селноски, 1984). Почти всем максимумам скорости вымирания организмов соответствуют глобальные геохимические аномалии (U) и резкое усиление процессов рифтогенеза (R).

веденные за последние 15—20 лет обширные исследования океанов это представление значительно изменили. Оказалось, что над рифтовыми зонами океана, протянувшимися на сотни километров, высоко над дном поднимаются «факелы» термальных вод, выносящих повышенные концентрации кремния, железа, марганца, бария, меди, цинка, никеля, кобальта, селена, лития, олова, циркония, иттрия, гелия. Показателем глубинного (точнее, мантийного) источника этого вещества служит высокая величина отношения $^3\text{He}/^4\text{He}$, а также прямая связь между количеством мантийного гелия (^3He), концентрацией этих элементов и температурой воды.

Особенно велик вклад эндогенных источников в зонах развития металлоносных осадков у рифтов. По мнению А. П. Лисицына, вклад эндогенной части кремния, железа, бария, марганца, никеля, цинка, иттрия и ряда других элементов является здесь решающим. Значителен он и за пределами акваторий, покрытых металлоносными осадками.

Обогащение осадков ураном и ванадием, столь характерными для геохимических аномалий, наблюдается вблизи рифтовой зоны Индийского океана. Повышенные концентрации урана, связанные с гидротермами, известны и в области срединного Атлантического хребта. В «горячих точках», где поступает наиболее глубинный материал, в щелочных базальтах установлена высокая (до 1 %) концентрация типичного для геохимических аномалий фосфора и на порядок повышенная (по сравнению с толеитовыми базальтами рифтовых зон) концентрация урана. В ~~пеллагиальных~~ ~~из вулкана~~ частицах, выносившихся из вулкана Килауэе вместе с газами, установлена высокая, в 17 тыс. раз выше нормы, концентрация иридия, а также повышенные концентрации других элементов, характерные для геохимических аномалий.

Спрединг литосферных плит в рифтовых зонах океана сопровождается, как известно, одновременным и равноценным погружением (субдукцией) «избытка» литосферных плит с накопленными на них осадками под островные дуги и континенты, где при переплавлении погружающихся плит развивается интенсивный вулканизм. В таких активных вулканических зонах осуществляется вынос многих элементов. Например, из вулкана Толбачик на Камчатке вместе с вулканическими газами выносятся уран, торий и платина. Очевидно, что эпохи формирования геохимических аномалий и крупных биосферных событий по времени были приурочены к моментам значительного увеличения скорости спрединга и субдукции

литосферных плит. Вынос глубинного вещества вместе с магмой и продуктами ее дегазации должен был достигать в это время максимума.

За период от конца мезозоя и до наших дней значительное усиление процессов рифтогенеза происходило трижды: в конце позднего мела (65 млн лет назад), в эоцене (около 40 млн лет назад) и в миоцене (примерно 10 млн лет назад). Сопоставив казалось бы ничего общего не имеющие сведения У. Б. Харленда о скоростях спрединга⁹ и данные о скоростях вымирания фауны Д. М. Раупа и Дж. Дж. Сепкоски¹⁰, можно убедиться в хорошем их соответствии. Максимумам скорости спрединга (т. е. моментам наиболее интенсивного поступления глубинного материала) отвечают максимумы скорости вымирания организмов. Такое же соответствие между усилением рифтогенеза, формированием геохимических аномалий и проявлением биосферных кризисов отмечается и в целом для фанерозоя.

Таким образом, наиболее вероятно, что интенсивные изменения органического мира происходили в эпохи усиления геодинамической активности в результате выноса в биосферу с магмой и продуктами ее дегазации избытка радиоактивных и других мутагенных элементов.

ПЕРИОДИЧНОСТЬ ПОЯВЛЕНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ И БИОСФЕРНЫХ КРИЗИСОВ

Анализ материалов об эпохах формирования глобальных геохимических аномалий и соответствующих им интенсивных изменениях органического мира наводит на мысль, что их проявление во времени отличается вполне определенной периодичностью. Нами было отмечено, что наиболее устойчивые в разрезе осадков геохимические аномалии и соответствующие им биосферные события, такие как на границах венда и кембрия, девона и карбона, юры и мела, происходили через 220—230 млн лет, что отвечает продолжительности звездного галактического года. Стало быть, если не прямое «ударное», то какое-то опосредованное влияние космоса на эти земные со-

⁹ Харленд У. Б. и др. Шкала геологического времени. М., 1985.

¹⁰ Raup D. M., Sepkosky J. J. // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 1984. Vol. 81. No 3. P. 801—805.

бытия, вероятно, все-таки имеется. Наряду с этим выявляется периодичность меньшего масштаба. По нашим данным, она оказалась равной 30—32 млн лет, Д. М. Раупом и Дж. Сепкоски она была оценена в 26—28, а М. П. Рампино — по тем же самым данным — в 30 ± 1 млн лет¹¹.

Недавно совсем с иных позиций точно те же большие периоды: два полных по 220 млн лет (кембрий — поздний девон, ранний карбон — поздняя юра) и один незавершенный (ранний мел — настоящее время), отвечающие звездным галактическим годам, выделили астрономы¹². Они показали, что при обращении вокруг центра Галактики абсолютная скорость движения Солнца периодически изменяется (почти в два раза), достигая максимума в апогалактии и минимума в перигалактии. Следствием, по мнению этих авторов, должно быть незначительное периодическое изменение массы Солнца и планет, приводящее к пульсации радиальных напряжений и определяющее периодичность геодинамики. Если эта гипотеза верна, то упомянутые наиболее устойчивые геохимические аномалии и отвечающие им биосферные кризисы должны были проявляться через 220—230 млн лет.

Убедившись, что геохимическая аномалия на границе мела и палеогена не уникальна, что существует целая серия глобальных геохимических аномалий и отвечающих им биосферных кризисов, к изучению периодичности этих событий с позиций гипотезы астероидных ударов обратился один из ее соавторов — У. Альварес вместе со специалистами по космическим исследованиям. По данным У. Альвареса, средняя периодичность образования ударных кратеров на Земле составляет 28,4 млн лет. Произведенная У. Альваресом корреляция «ударных» космических событий с установленными геохимическими аномалиями и биосферными кризисами не очень убедительна. Даже для конца позднего мела (эпохи, изучение которой привело Л. и У. Альваресов к созданию гипотезы астероидного удара) максимуму скорости выми-

рания фауны отвечает минимум вероятности ударного события.

М. Девис попытался обосновать наблюдаемую периодичность крупных биотических событий и ударов космических тел существованием гипотетического спутника Солнца — звезды возмездия «Немезиды», которая, проходя сквозь кометное облако Оорта, изменяет орбиты комет и посылает их в Солнечную систему, где некоторые из них сталкиваются с Землей¹⁴. Но наблюдаемую периодичность биосферных событий с этих позиций объяснить очень трудно. Это признает даже сам автор гипотезы.

Более реалистичной нам представляется идея Р. Д. Шварца о соответствии примерно 33-миллионлетней периодичности биосферных кризисов и геохимических аномалий с периодичностью вертикальной осцилляции Солнечной системы относительно галактической плоскости¹⁵. Каждые 33 ± 3 млн лет Солнечная система пересекает галактическую плоскость со сгущениями материи. При этом она неизбежно должна испытывать космические воздействия, обуславливающие, например, изменения интенсивности солнечной радиации Земли и ее климата. Не исключены и более сильные возмущения, приводящие к оживлению геодинамики и, как следствие, к интенсивному выносу глубинного вещества.

Конечно, пока это только гипотеза, однако корреляция «галактического возраста» геохимических аномалий и биосферных кризисов, вычисленного для моментов пересечения Солнцем галактической плоскости, с одной стороны, и абсолютного геохронологического возраста этих событий — с другой, вряд ли случайна. Она позволяет думать о взаимосвязи и единой периодичности крупных космических, геодинамических, геохимических и геобиологических событий, инициируемых выносом из глубинных зон Земли избытка радиоактивных и других мутагенных элементов.

Совершенно очевидно, что в рассматриваемой проблеме еще много неясных вопросов, тем более интересно и важно ее дальнейшее изучение.

¹¹ Rampino M. P., Stothers R. B. // *Nature*. 1984. Vol. 308. № 5961. P. 709—711.

¹² Ефимов А. А., Заколдаев Ю. А., Шпигальная А. А. Астрономические основания абсолютной геохронологии. (Всес. астрон.-геод. о-во. Сер. «Пробл. исслед. Вселенной». Вып. 10) Л., 1985. С. 185—201.

¹³ Alvarez W., Muller R. A. // *Nature*. 1984. Vol. 308. № 5961. P. 718—720.

¹⁴ Davis M., Hut P., Muller R. A. // *Ibid.* P. 715—717.

¹⁵ Schwartz R. D., James P. B. // *Ibid.* P. 712—713.

КАК ВЗОРВАЛАСЬ



Игорь Дмитриевич Новиков, доктор физико-математических наук, заведующий сектором Института космических исследований АН СССР. Специалист в области релятивистской астрофизики. Им получены важные результаты в теории гравитационного коллапса, черных дыр и космологии. Автор ряда книг, среди них: *Строение и эволюция Вселенной* (совместно с Я. Б. Зельдовичем). М., 1975; *Эволюция Вселенной*. М., 1979, 2-е изд. 1983; *Черные дыры и Вселенная*. М., 1985; *Физика черных дыр* (совместно с В. П. Фроловым). М., 1986. Неоднократно печатался в «Природе».

МЫ ЖИВЕМ в расширяющейся Вселенной. Установление этого удивительного факта — одно из основных достижений науки XX в. «Но неужели Вселенная взорвалась? — вправе спросить читатель, — и если да, то как и почему это произошло?» К ответам на эти вопросы подошла современная космология. Да, Вселенная взорвалась, хотя этот «Большой взрыв» и был необычным¹.

Теория расширяющейся Вселенной создана советским математиком А. А. Фридманом в начале 20-х годов нашего века. Американский астроном Э. Хаббл, наблюдая движение далеких звездных систем — галактик, в конце 20-х годов экспериментально подтвердил факт расширения Вселенной. Теория Фридмана описывает, как под действием сил тяготения происходит это расширение. Галактики удаляются друг от друга, двигаясь по инерции, а силы взаимного тяготения постепенно тормозят их движение и замедляют расширение Вселенной. Сравнение теории с наблюдениями показывает, что расширение началось около 15 млрд лет назад. Но теория не отвечает на вопрос, почему началось расширение. Откуда в веществе, из которого потом образовались галактики, взялись начальные скорости расширения?

В 1965 г. было сделано открытие, которое, казалось бы, должно было помочь решить эту проблему. Было обнаружено слабое электромагнитное излучение с температурой около 3 К, равномерно заполняющее всю Вселенную. Оно не возникло в каких-либо источниках, а присутствовало во Вселенной с самого начала расширения. Это излучение получило название реликтового. В ходе расширения оно остыло, раньше его температура, а значит, и температура всего вещества, была очень высока. Вселенная была горячей, давление вещества, которое тогда было распределено в пространстве почти однородно, было огромным.

На первый взгляд, большое давление крайне важно. Вспомним картину взрыва какого-либо заряда. В малом объеме выделяется большая энергия. Это может быть, например, химическая энергия или ядерная. Вещество заряда сильно нагревается и испаряется. Давление нагретых газов вызывает его стремительное расширение. Когда мы обращаемся к началу расширения Вселенной, невольно перед глазами предстает только что описанная картина. Не являются ли большие температура и давление причиной начала расширения Вселенной? Нет, такое заключение неправильно. Между двумя описанными явлениями имеется существенное различие. При взрыве заряда есть перепад давлений — огромное давление внутри горячих газов и сравнительно малое атмосферное давление снаружи (если взрыв

¹ Более полное изложение вопросов, затрагиваемых в статье, можно найти в книге: Новиков И. Д. Как взорвалась Вселенная. М., 1988.

ВСЕЛЕННАЯ

И. Д. Новиков

происходит в воздухе). Этот перепад и создает силу, расшвыривающую вещество. Но надо помнить, что перепад давлений создает силу, а не само высокое давление. Ведь если бы снаружи взрывающихся газов давление было такое же, что и внутри, то, очевидно, никакого разлета вещества не было бы. Кроме того, не будем забывать, что плотность расширяющегося горячего газа при взрыве неоднородна: максимальна в центре и спадает к краям. В ходе разлета перепад давлений, связанный с перепадом плотности и температуры, создает силу, подталкивающую разлетающийся газ.

Ничего подобного нет в начале расширения Вселенной. Ее вещество до образования небесных тел было однородно, никаких перепадов плотности и давления не было. Поэтому не возникало силы, которая могла бы служить причиной начала расширения. Следовательно, большое давление горячего газа не есть причина начала расширения Вселенной.

Что же послужило «первотолчком», давшем начальные скорости веществу? Чтобы понять это, нам предстоит отыскать «следы» наиболее древних процессов во Вселенной. Оказывается, такими «следами» являются самые фундаментальные (и порой загадочные) свойства наблюдаемой сегодня Вселенной.

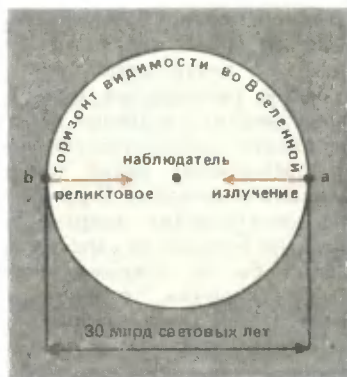
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАГАДКИ

Пожалуй, первая из них — однородность Вселенной в больших масштабах. На расстояниях больше сотен мегапарсек (т. е. миллионов световых лет) скопления галактик распределены в пространстве однородно. Правда, для больших расстояний выводы делать трудно из-за сложности наблюдения далеких слабых объектов. Кроме того, подобные наблюдения еще ничего не говорят напрямую о распределении «скрытой массы» — невидимых (несветящихся) форм материи. Тем не менее вывод о крупномасштабной однородности Вселенной и для видимой, и (что особенно важно) невидимой материи вполне надежен. Как он получен?

Инструментом исследования послужило реликтовое излучение. Сегодня Вселенная совсем прозрачна для этого излучения, но в прошлом было не так. Когда температура превышала 4000 К, все вещество представляло собой ионизованную плазму (отдельных небесных тел тогда еще не было), непрозрачную для реликтового излучения. Превращение плазмы в нейтральное вещество произошло спустя 300 тыс. лет после начала расширения, и с той эпохи подавляющее большинство реликтовых фотонов движется по прямой, уже не взаимодействуя с нейтральными атомами. Поэтому, когда мы наблюдаем реликтовое излучение, мы заглядываем в прошлое — в ту далекую эпоху, которая называется эпохой рекомбинации, поскольку тогда происходил захват электронов атомными ядрами и образовывалось нейтральное вещество. За время, прошедшее с эпохи рекомбинации, излучение успевает преодолеть около 15 млрд св. лет. Это максимальное расстояние, которое свет пройдет в расширяющейся Вселенной, даже если он вышел в самом начале ее расширения, т. е. 15 млрд лет назад. Поэтому такое расстояние называют расстоянием до горизонта видимости. Таким образом, с помощью реликтового излучения мы «просматриваем» практически всю доступную наблюдению область Вселенной.

Чем же реликтовое излучение может помочь в решении вопроса, насколько од-

Распространение световых сигналов (реликтового излучения) во Вселенной из точек а и б, находящихся на сегодняшнем горизонте видимости.



нородна Вселенная? Дело в том, что это излучение несет информацию о свойствах Вселенной в точках, разнесенных очень далеко в пространстве. И эти свойства оказываются до удивления одинаковыми. Так, интенсивность реликтового излучения, приходящего к нам из диаметрально противоположных точек на небе, одинакова с точностью по крайней мере до сотых долей процента. Поскольку каждый такой луч идет к нам практически от горизонта, то, значит, точки, из которых вышло реликтовое излучение, разнесены сегодня на 30 млрд св. лет. А излучение свидетельствует, что свойства этих областей совершенно одинаковы.

Но, что, собственно, удивительного в однородности Вселенной в очень больших масштабах? А удивительно это по следующей причине. Световой сигнал, идущий из точки а (см. первый рисунок) и вышедший практически в момент начала расширения Вселенной, еще не успел дойти до точки б. Поскольку быстрее света ничто не может распространяться, то в точке б не может быть никаких сведений об условиях в точке а. Как же в таком случае получилось, что условия в обеих точках совершенно одинаковы? Ведь когда сигнал выходил из точки а, она находилась далеко за пределами горизонта видимости, очерченного в этот момент вокруг точки б. Нет никаких причин для выравнивания, или «согласования», условий в этих точках, раз они не успели с начала расширения Вселенной даже обменяться сигналами. И тем не менее условия в них одинаковы. Почему?

Это и есть первая загадка, которую должна решить теория. Она получила название «проблемы горизонта».

Перейдем теперь ко второму фундаментальному свойству Вселенной, которое также нуждается в объяснении. Мы уже говорили, что расширение Вселенной тормозится силами тяготения. Эти силы, определяющие энергию тяготения, зависят от средней плотности вещества во Вселенной. В то же время скорости удаления галактик друг от друга определяют кинетическую энергию расширения. Если бы в самом начале энергия тяготения заметно превышала начальную кинетическую энергию разлета, то расширение давно прекратилось бы и Вселенная сжалась. С другой стороны, если бы кинетическая энергия в начале была заметно больше, то галактики сегодня разлетались бы по инерции, совсем не тормозясь тяготением. То значение плотности вещества, при котором обе энергии уравновешиваются, называется критическим. Наблюдения показывают, что в первые мгновения

расширения плотность была чрезвычайно близка к критическому значению. Рассмотрим для примера момент времени в прошлом, очень близкий к началу расширения, когда, согласно современной теории, единое физическое взаимодействие, определяющее все процессы в веществе, «распалось», и сильное ядерное взаимодействие стало играть самостоятельную роль. Этот момент называют эпохой «Великого объединения», он отстоит от начала расширения всего на 10^{-33} с. Так вот, в ту эпоху отличие плотности от критической составляло менее 10^{-50} доли от значения самой плотности!

Таким образом, в самом начале расширения плотность вещества во Вселенной была удивительно близка к критической. Но почему? Почему силу взрыва, которая определила скорость расширения, природа подобрала такой, что критическая плотность с величайшей точностью совпала с реальной плотностью вещества?

Это и составляет вторую загадку Вселенной, называемую иногда «проблемой критической плотности».

Следующая проблема: почему, несмотря на удивительную однородность Вселенной в очень больших масштабах, в меньших масштабах все же были отклонения от однородности — небольшие первичные флуктуации плотности? Именно эти небольшие сгущения вещества потом под действием сил тяготения уплотнялись и образовали, уже в эпоху, близкую к нашей, галактики и их скопления.

Наконец, существует еще одна проблема. Она связана с предсказываемыми современной теорией особыми частицами, такими, например, как магнитные монополи. Эти своеобразные частицы возникли во Вселенной в эпоху «Великого объединения». Их должно было народиться тогда необычайно много. Правда, в ходе последующей эволюции часть монополей и их античастиц — антимонполей — проаннигилируют друг с другом. Но, как показали расчеты Я. Б. Зельдовича и М. Ю. Хлопова, в сегодняшней Вселенной монополей должно остаться очень много, примерно столько же, сколько обычных частиц — протонов. Но ведь монополи в 10^{16} раз массивнее протонов. Это значит, что плотность вещества в виде монополей в сегодняшней Вселенной была бы в 10^{16} (!) раз больше, чем плотность обычного видимого вещества. Этого, конечно, не может быть. Следовательно, в сегодняшней Вселенной монополей практически нет. Куда же они делись?

Эта загадка получила название «проблемы монополей».

Астрофизики понимали, что перечисленные загадки связаны с теми процессами, которые происходили в самом начале расширения Вселенной, т. е. в них в зашифрованном виде хранится тайна начала. Оставалось подобрать ключ к шифру.

«ПЕРВОТОЛЧОК»

Итак, огромное давление в начале не может быть причиной больших скоростей разлета вещества, ибо в однородной Вселенной нет перепада давления, который только и создает в этом случае силу, ведущую к разлету. Для того чтобы понять, как могут возникнуть силы, дающие «первотолчок» для начала разлета вещества, напомним важное свойство современной теории гравитации, созданной А. Эйнштейном.

Согласно старой ньютоновской теории гравитации, силы тяготения определяются количеством материи. В случае однородного распределения вещества в пространстве, как это было в прошлом во Вселенной, эти силы создают взаимное притяжение между всеми точками вещества. Соответствующее замедление скорости расширения дается формулой:

$$a = -\frac{4}{3}\pi G \varrho R,$$

здесь G — постоянная тяготения Ньютона, ϱ — плотность вещества, R — расстояние между точками. То, что речь идет именно о замедлении (a не об ускорении), определяется знаком минус в этой формуле. Не должно удивлять и то, что если мы возьмем большее R , то получим и большее a . Дело в том, что при большем R между точками будет находиться больше вещества, создающего тяготение.

А. Эйнштейн показал, что в этом пункте в ньютоновскую формулу надо ввести уточнение. А именно, формула должна содержать не просто плотность ϱ , а выражение $(\varrho + 3p/c^2)$, где p — давление вещества, а c — скорость света. В обычных условиях второе слагаемое очень мало и им пренебрегают. Однако в начале расширения Вселенной, как мы увидим, оно становится определяющим². Итак, согласно Эйнштейну, формулу надо переписать в виде:

$$a = -\frac{4}{3}\pi G(\varrho + 3p/c^2)R.$$

Следующим важнейшим шагом в понимании того, что произошло в самом начале расширения Вселенной, явились успехи теоретической физики. Современная теория предсказывает, что при очень больших плотностях материи могут возникать совершенно удивительные состояния. Но прежде всего определим, что физики понимают под «очень большими» плотностями. Это плотности, близкие к величине, определяемой тремя фундаментальными постоянными G , c и $\hbar$, где $\hbar$ постоянная Планка:

$$\varrho_n = c^5/G^2. \hbar \approx 10^{94} \text{ г/см}^3.$$

Огромность этой величины трудно вообразить. Для сравнения можно напомнить, что плотность атомного ядра «всего» 10^{16} г/см^3 . Плотность ϱ_n получила название планковской. Согласно теории, при плотностях, близких к планковской, в веществе могут возникать особые состояния, характеризующиеся сильнейшими натяжениями, или, что то же самое, отрицательными давлениями $p = -\varrho c^2$. Особенностью такого состояния является то, что оно не меняется при расширении — плотность и давление остаются постоянными. Такие состояния получили название вакуумноподобных, их называют еще ложным вакуумом.

Подставим полученное выражение в уточненную формулу для a (будем обозначать плотность и давление вакуумноподобного состояния индексом «звездочка»):

$a = \frac{8}{3}\pi G \varrho_n R$. Теперь a не отрицательное, а положительное, т. е. имеется ускорение. Значит, возникло гравитационное отталкивание. Вот это начальное гравитационное отталкивание и было тем «первотолчком», который привел к появлению расширяющейся Вселенной. Нетрудно показать, что под действием отталкивания расстояние между частицами будет стремительно нарастать по экспоненциальному закону:

$$R = R_0 \exp[(8\pi G \varrho_n / 3)^{1/4} t],$$

где R_0 произвольная постоянная, определяемая начальным положением частиц. Расширение Вселенной по экспоненциальному закону необычайно стремительно и происходит с постоянным ускорением (напомним, что ϱ_n при этом постоянно или, говоря точнее, почти постоянно). Такой процесс получил название инфляционного раздувания Вселенной.

Предположение о том, что огромные отрицательные давления, а значит, и гравитационное отталкивание могут возникнуть при очень больших плотностях вещества, было

² Подробнее об этом см.: З е л д о в и ч Я. Б. Почему расширяется Вселенная // Природа. 1984. № 2. С. 66—71.

сделано в конце 60-х годов Э. Б. Глинером. В 1972 г. Д. А. Киржниц и А. Д. Линде показали, что подобное состояние может естественно возникать в расширяющейся Вселенной с понижением температуры и плотности от очень больших значений. Несколько позже эти первые идеи были развиты применительно к космологии в работах Э. Б. Глинера, Л. Э. Гуревича, И. Г. Дымнишковой, а затем, с использованием новейших достижений физики высоких энергий, А. Гусом, А. Альбрехтом, П. Стейнхартом в США, и у нас в стране — А. Д. Линде, А. А. Старобинским и другими.

РАЗДУВАНИЕ

Как «первотолчок» связан с фундаментальными свойствами Вселенной и какова судьба вакуумноподобного состояния материи с огромным отрицательным давлением? Современная наука еще далека от полного ответа на эти вопросы, и мы расскажем только об одном варианте теории, который представляется наиболее вероятным.

Процессы, о которых пойдет речь, происходили в первые мгновения расширения и характеризуются длительностью, сравнимой с так называемым планковским временем: $t_n = \sqrt{\hbar G/c^5} \approx 3 \cdot 10^{-44}$ с. Если вспомнить, что плотность вакуумноподобного состояния ϱ , вероятно, близка к планковской ϱ_n , и подставить это значение в выражение для R , то получим:

$$R = R_0 e^{3 \cdot 10^{13} t}.$$

Здесь время t выражается в секундах.

Что будет происходить в такой невероятной быстро раздувающейся Вселенной? Прежде всего, еще раз подчеркнем, что плотность вакуумноподобного состояния ϱ не меняется со временем или, во всяком случае, меняется медленно. Совсем иначе обстоит дело с плотностью обычной материи ϱ . По мере раздувания Вселенной эта плотность падает. Можно показать, что вначале плотность падает, как четвертая степень расстояния между частицами, т. е.

$$\varrho \sim R^{-4} \sim e^{-12 \cdot 10^{13} t}.$$

Значит, уменьшение плотности обычной материи происходит чрезвычайно быстро. Так, по прошествии всего пяти планковских времен ($5t_n = 1,5 \cdot 10^{-43}$ с) плотность ϱ упадет в $e^{20} \approx 10^9$ раз. Если в начале процесса при $t = t_n$ плотность обычной материи и плотность вакуумноподобного состояния были сравни-

мы, то очень быстро окажется, что $\varrho \gg \varrho$. Когда обычная материя остынет из-за расширения и частицы, имеющие массу, не будут уже двигаться со скоростями, близкими к скорости света, формула для ϱ несколько изменится:

$$\varrho \sim R^{-3} \sim e^{-9 \cdot 10^{13} t}.$$

Но этот закон падения плотности по своей стремительности мало отличается от предыдущего ($\varrho \sim R^{-4}$).

Долго ли будет продолжаться этот удивительный процесс? С уверенностью пока ответить нельзя. Ясно только одно — вакуумноподобное состояние неустойчиво. По прошествии некоторого времени Δt (от 10^5 до $10^{10} t_n$; эта цифра сильно меняется в разных вариантах теории) оно распадается, превращаясь в обычную горячую материю. Возьмем для определенности цифру $10^9 t_n$. По человеческим меркам это ничтожно мало: Δt длится от $3 \cdot 10^{-44}$ до $3 \cdot 10^{-35}$ с. Однако за столь короткое время все расстояния во Вселенной вырастут, согласно выражению для R , в $e^{10^9} \approx 10^{4 \cdot 10^9}$ раз, а плотность обычной материи упадет в ходе раздувания примерно в 10^{10^9} раз³.

Огромность этих чисел невозможно представить, и все это произойдет за ничтожные первые мгновения, к концу которых во Вселенной станет необычайно холодно. В начале процесса, согласно оценкам, температура была огромной: $T \approx 10^{32}$ К. В конце из-за охлаждения при раздувании она окажется равной $10^{-4} \cdot 10^9$ К. Это несравненно меньше сегодняшней температуры реликтового излучения (3 К). А плотность обычной материи в этот момент составляла, согласно оценке:

$$\varrho \sim R^{-3} \approx 10^{-10^9} \text{ г. см}^{-3}.$$

Комментарии к этим цифрам излишни. Можно только отметить, что в это время одна элементарная частица обычной материи будет находиться на расстоянии около $10^{4 \cdot 10^9}$ св. лет от другой. Напомним, что радиус видимой части сегодняшней Вселенной составляет «всего» около 15 млрд св. лет. Естественно, мы вправе считать Вселенную в ту эпоху пустой для обычной материи и подчиняющейся только действию гравитационных сил отталкивания вакуумноподобного состояния.

³ Из-за того что плотность вакуумноподобного состояния в ходе раздувания может медленно меняться, числа, приводимые здесь и далее, только приближительны и даются лишь в качестве иллюстраций (показатели степени могут быть в несколько раз меньше). Но все это не меняет качественных заключений об огромности рассматриваемых величин.

Что же произойдет в конце этого периода? Вакуумноподобное состояние из-за неустойчивости распадется, исчезнет, порождая обычную горячую материю с положительным давлением. Энергия вакуумноподобного состояния перейдет в энергию обычной материи. После этого гравитационное отталкивание, свойственное вакуумноподобному состоянию, сменится обычной гравитацией, замедляющей расширение. Вселенная после небольшой переходной стадии начнет развиваться по модели Фридмана, и расширение уже будет тормозиться силами тяготения.

А до каких температур разогревается Вселенная? Точного ответа мы опять не знаем. Вероятно, до 10^{27} К, может быть, несколько меньше. Во всяком случае, эти температуры огромны. Вселенная из-за распада вакуумноподобного состояния очень быстро разогревается и становится снова горячей, заполненной всевозможными частицами и античастицами, соответствующими столь высокой температуре. Но это уже новые частицы, возникшие при распаде вакуумноподобного состояния. Именно из них впоследствии образуются галактики, звезды и реликтовое излучение. Про «старые» частицы, существовавшие в начале инфляции, теперь можно забыть, ибо они разбросаны раздуванием на невообразимые расстояния друг от друга и необычайно редки во Вселенной.

Остановимся на некоторое время и рассмотрим такую ситуацию. Пусть в начале раздувания две частицы находились друг от друга на планковском расстоянии $r_n = t_n \times c \approx 10^{-33}$ см. Мы утверждали, что к концу фазы раздувания, т. е. через промежуток времени $\Delta t \approx 3 \cdot 10^{-35}$ с, все расстояния увеличились в $10^4 \cdot 10^5$ раз. Следовательно, расстояние между частицами стало $10^{-33} \times 10^4 \cdot 10^5$ см. Поделив теперь это расстояние на промежуток времени Δt , получим «среднюю скорость» разлета рассматриваемых частиц. Она оказывается равной $10^4 \cdot 10^5$ см/с, т. е. в гигантское число раз превосходит скорость света! Возможно ли это?

Парадокс разрешается следующим образом.

Каждый представляет себе, как измерить скорость тела, проносящегося мимо наблюдателя: надо взять жесткий масштаб и отметить время, когда тело проходит начало масштабного отрезка, а затем его конец; поделив длину масштаба на промежуток времени между этими двумя событиями, получаем скорость. Иначе обстоит дело, если необходимо измерить скорость тела по отношению к наблюдателю, когда тело движется на большом расстоянии от него. Для

этого надо сначала иметь возможность хотя бы мысленно связать с наблюдателем систему отсчета в виде воображаемого жесткого каркаса и продолжить этот каркас к месту, где движется тело. Измеряя затем скорость тела по отношению к каркасу в месте, где оно движется, мы и получим скорость тела относительно наблюдателя. Мы не случайно подчеркнули, что воображаемый каркас должен быть везде жестким и жестко связанным с наблюдателем. Иначе деформации каркаса вызовут относительные перемещения его частей, и скорость тела, измеренная по отношению к каркасу в том месте, где тело движется, не будет скоростью по отношению к наблюдателю.

Но всегда ли возможно, хотя бы мысленное, существование такого жесткого каркаса? В пустом пространстве без сил гравитации вообразить такую систему отсчета можно всегда. Иное дело — в очень сильных гравитационных полях. Здесь силы гравитации, действующие на достаточно протяженные жесткие системы, могут стать бесконечно большими. Именно этот случай и имеет место во Вселенной с вакуумноподобным состоянием. Если размер жесткого каркаса больше, чем $l \approx \sqrt{8\pi G \rho_0}$, в нем возникают бесконечные гравитационные ускорения, связанные с гравитационным отталкиванием вакуумноподобного состояния. Поэтому никаких, даже хотя бы только мысленно осуществимых, жестких каркасов с размером больше l , в такой Вселенной быть не может. Силы гравитации заставят его деформироваться. А раз нет протяженных жестких каркасов, нельзя и определить понятие относительной скорости для частиц, достаточно удаленных друг от друга. В этом-то и все дело! Для тел на больших расстояниях перестает иметь смысл понятие скорости. А значит, бессмысленно и говорить о том, больше их скорость, чем скорость света, или нет.

Так разрешается парадокс: для рядом летящих частиц скорости никогда не могут быть больше световой, для очень удаленных частиц при наличии сильной гравитации теряется смысл понятия скорости. Поэтому и возможно чудовищное раздувание Вселенной без нарушения принципа максимальной скорости света.

КЛЮЧ

Раздувание Вселенной и есть тот ключ, с помощью которого разрешаются загадки ее фундаментальных свойств.

Начнем с первой — проблемы горизонта. Напомним, в чем она заключается. Достаточно удаленные друг от друга точки не успевают даже к сегодняшнему дню обменяться световыми сигналами, и одна точка не может «знать» об условиях в другой. Поэтому непонятно, почему температуры и другие физические параметры в этих точках одинаковы, о чем свидетельствуют наблюдения. Объяснение состоит в следующем. Удаленные сегодня точки не успевают обменяться сигналами только во Вселенной без эпохи экспоненциального раздувания, т. е. без инфляции в самом начале. Раздувание невероятно увеличивает расстояние между любыми точками. Поэтому точки, сегодня далекие, в начале инфляции находились совсем рядом, внутри объема размера 10^{-33} см, т. е. практически совпадали и могли многократно обмениваться сигналами. А так как они разлетались практически из одной «точки», нет ничего удивительного, что условия в них одинаковы.

Вторая загадка — почему плотность вещества во Вселенной сегодня не очень отличается от критической, а в прошлом вообще была чрезвычайно близка к критическому значению, практически совпадая с ним. Вот как инфляция решает эту проблему.

Ускорение, создаваемое гравитационным отталкиванием, сообщает расширяющейся материи кинетическую энергию, как раз равную энергии гравитации. Когда в конце стадии раздувания вакуумноподобное состояние распадается и превращается в обычную материю, плотность ρ переходит в обычную плотность материи ρ ; не удивительно, что энергии гравитации и разлета оказываются сбалансированными, а плотность — равной критической плотности.

Третья загадка — откуда взяли небольшие первичные флуктуации плотности в веществе, из которых потом, после их роста, возникли галактики и их системы. Дело в том, что распад вакуумноподобного состояния — квантовый процесс, подверженный случайным флуктуациям, типичным для такого рода процессов, таких как, например, радиоактивный распад. В одних местах по случайным причинам распад вакуумноподобного состояния произошел чуть раньше, чем в других, и поэтому раньше вызвал переход к горячей Вселенной. Это приведет, как показывают расчеты, к небольшим флуктуациям плотности возникшей горячей материи. Большой вклад в решение этой проблемы внесли С. Хокинг (Великобритания), и А. Д. Линде, В. Н. Лукаш, В. М. Муханов, А. А. Старобинский, Г. В. Чибисов в нашей стране.

Наконец, четвертая проблема — проблема монополей. Решение ее с помощью инфляции очевидно. Монополи возникают во Вселенной в самом начале инфляции, когда температура ниже планковской на несколько порядков. После этого в ходе раздувания Вселенной монополи будут разбросаны друг от друга на гигантские расстояния. Они оказываются настолько редкими, что встретить их во Вселенной становится практически невозможно.

Итак, мы познакомились со схемой явлений, которые, вероятно, происходили при огромных плотностях материи, огромных энергиях, приведших к «первотолчку» и затем, после длинной цепочки событий, к наблюдаемой сегодня Вселенной. А что было еще раньше?

Ответить на этот вопрос совсем не просто, и не только потому, что специалисты еще очень мало знают о процессах при планковских энергиях. Трудности связаны с тем, что в этих экстремальных условиях полностью меняются фундаментальные черты таких всеобщих категорий существования материи, как пространство и время.

Вероятно, планковские плотности — максимально возможные в природе. При этих плотностях пространство и время разбиваются на «кванты», характеризующиеся длительностью t_n или пространственной протяженностью $r_n = t_n \cdot c$. Как говорят физики, происходят бурные «флуктуации» вакуума, и промежутки времени, меньшие t_n , бессмысленны. Такое состояние материи называют сингулярным. Все свойства Вселенной, которые мы наблюдаем сегодня, по существу, возникали в сингулярном состоянии. В связи с этим перед нами встает еще один вопрос.

А. Эйнштейн однажды сказал: «Что меня действительно глубоко интересует, так это — мог ли Бог создать мир иным?» Великий физик под словом «Бог» подразумевал природу, поэтому мы должны понимать это высказывание, как вопрос, могла ли окружающая нас Вселенная быть устроена иначе. Подобные вопросы раньше было «не принято задавать», а теперь их смело пытаются решить современная физика.

ВЕЧНО ЮНАЯ ВСЕЛЕННАЯ

В 1986 г. А. Д. Линде предложил совершенно новый подход к объяснению этих вопросов. Суть его состоит в следующем. Он и А. А. Старобинский обратили

внимание на определяющую роль квантовых флуктуаций, которые должны существовать при очень больших плотностях, близких к планковской (10^{94} г/см³).

Как мы убедились выше, при этом Вселенная находится в вакуумноподобном состоянии с отрицательным давлением и подвержена инфляции (раздуванию). Выделим в этом сверхплотном веществе, которое имеет плотность ϱ_1 , близкую к ϱ_n , но несколько меньше ее, область, примерно равную пространственному «кванту» t_n . с, и проследим за ее изменением со временем.

Область будет раздуваться. Рассмотрим ее раздувание за время, когда все расстояния увеличиваются примерно вдвое, а объем в $2^3=8$ раз. Это время по порядку величины есть $t \approx t_n$ (в действительности, несколько больше). За время t любой сигнал может пройти самое большее — расстояние $l_{\max}=c \cdot t$. Объемы, разделенные большим расстоянием, будут уже причинно не связаны между собой.

Увеличивающийся объем по прошествии времени t будет состоять из 8 областей с линейными размерами $l_{\max}$ каждая. Внутри каждой из них возможны причинные связи между явлениями, но между собой они уже не могут взаимодействовать, так как стремительно удаляются друг от друга из-за раздувания Вселенной. Поэтому каждая из этих областей эволюционирует в дальнейшем независимо от соседних, представляя, по существу, отдельную «подвселенную», или «мини-вселенную», по терминологии А. Д. Линде.

Можно сказать, что по прошествии времени t первоначальный объем породил 8 мини-вселенных «первого поколения». В дальнейшем процесс повторится, и через время t каждая из мини-вселенных «породит» новые мини-вселенные, которые составят «второе поколение», и т. д. Конечно, пока название «отдельные мини-вселенные» чисто условно и отражает только невозможность в будущем обмена информацией между ними. И хотя каждая из них развивается дальше без влияния соседей, но из-за того, что начальные условия в них одинаковы, они и развиваться будут одинаково, составляя, по существу, единую раздувающуюся Вселенную.

Мы подчеркивали, что при раздувании в первом приближении плотность вакуумноподобного состояния ϱ не меняется. Но это только в первом приближении. В действительности ϱ_1 , хотя и медленно по сравнению с темпом раздувания, но все же уменьшается. Поэтому с течением времени несколько

ослабевает и темп раздувания (ведь он определяется ϱ).

А теперь постараемся учесть квантовые флуктуации при большой плотности в мини-вселенных. Эти флуктуации хаотичны, а их амплитуда зависит от самой плотности ϱ . Чем больше эта плотность, тем больше амплитуда квантовых флуктуаций $\delta\varrho$, возникающих за время t . Размеры же областей, охваченных каждой флуктуацией (как показывает расчет), как раз порядка $l_{\max}$.

Теперь у нас имеются две причины, вызывающие изменение ϱ в мини-вселенных: во-первых, систематическое уменьшение ϱ из-за раздувания (обозначим это уменьшение за время t через $\Delta\varrho$) и, во-вторых, хаотические квантовые флуктуации $\delta\varrho$. Оказывается, судьбы мини-вселенных кардинально зависят от соотношения между $\delta\varrho$ и $\Delta\varrho$. Предположим сначала, что ϱ хоть и велика, но заметно меньше ϱ_n , а квантовые флуктуации $\delta\varrho$ очень малы, много меньше $\Delta\varrho$. Тогда квантовыми флуктуациями можно пренебречь, и мини-вселенные будут раздуваться все одинаково, как мы это только что описывали. Плотность ϱ в них везде будет уменьшаться на $\Delta\varrho$ за время t .

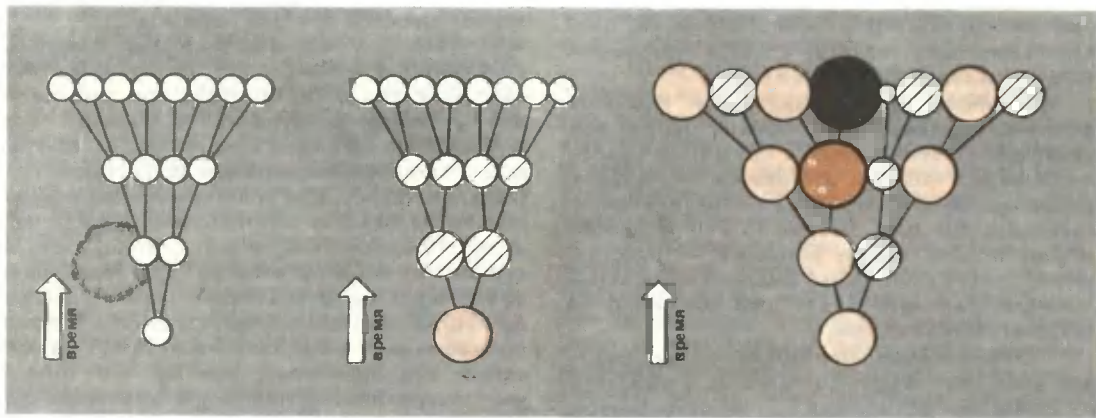
Иное дело, если плотность ϱ достаточно близка к планковской, так что квантовые флуктуации по амплитуде $|\delta\varrho|$ много больше уменьшения плотности $\Delta\varrho$ вследствие расширения; тогда последнее можно пренебречь. Пусть это имеет место, когда ϱ больше некоторого значения ϱ_1 . Возникающие за время t флуктуации $\delta\varrho$ хаотичны: в половине мини-вселенных они будут положительны, в другой половине — отрицательны. Иными словами, в половине мини-вселенных «первого поколения» плотность ϱ возрастет, а в половине — уменьшится.

Вот теперь-то становится понятной действительная разница между мини-вселенными одного и того же поколения. Ведь в них теперь отличные ϱ , т. е. разные условия. Все мини-вселенные будут раздуваться, но те, в которых ϱ больше, раздуваются быстрее, и их объем будет больше, чем объем тех мини-вселенных, где ϱ уменьшилась. За следующий промежуток времени t возникновение новых мини-вселенных с флуктуациями ϱ в них повторится и т. д. Таким образом, доля объема с увеличивающейся плотностью ϱ в ходе раздувания будет возрастать по сравнению с долей объема с уменьшающейся ϱ .

Рано или поздно эволюция исходной мини-вселенной с первоначальной плотностью, заметно меньше ϱ_n , приведет к тому, что в некоторых из мини-вселенных последующих поколений плотность достигнет

планковской. Что будет потом? Дальнейшее увеличение плотности невозможно, так как планковская плотность максимально возможная. Тогда пространство-время (т. е. наши мини-вселенные) начнут распадаться на кванты, образуя «пространственно-временную пену». Из этой флуктуирующей «пены» возникнут новые мини-вселенные — пузыри с

не столь велики и систематическое уменьшение плотности $\Delta \rho$ из-за раздувания больше амплитуды флуктуаций $|\delta \rho|$. Величина ρ_1 может быть в миллион раз меньше планковской, но все же остается огромной. Теперь в том объеме, где $\rho < \rho_1$, флуктуациями $\delta \rho$ уже можно пренебречь по сравнению с $\Delta \rho$, и ρ будет хоть и медленно,



Эволюция областей с линейными размерами $l_{пл}$ в раздувающейся Вселенной. Каждый кружок соответствует одной мини-вселенной, ряды кружков — последующим «поколениям» мини-вселенных. В каждом поколении мини-вселенные выстроены в один ряд; в действительности они занимают объем пространства. Из-за подобной условности число мини-вселенных в каждом поколении на схеме увеличивается вдвое, а не в 8 раз, как на самом деле.

Падения плотности ρ в раздувающейся Вселенной от «поколения» к «поколению» мини-вселенных (показано уменьшающейся плотностью штриховки и цвета). Уменьшение ρ ведет к замедлению раздувания последующих «поколений» (на рисунке этому соответствует уменьшение размера кружков). При этом суммарный объем всех мини-вселенных продолжает стремительно нарастать.

Эволюция «поколений» мини-вселенных в случае, когда квантовые флуктуации $\delta \rho$ являются определяющими. Черным кружком показана мини-вселенная, в которой $\rho = \rho_n$.

плотностью, близкой к планковской. Часть их тут же возвращается в «пенообразное» состояние. Но в другой части из-за случайных флуктуаций плотность ρ уменьшается в последующих поколениях. Тогда с каждой из таких мини-вселенных будет повторяться то, что мы описали выше: она будет порождать новые поколения, от которых будут уходить цепочки мини-вселенных как с увеличивающейся, так и с уменьшающейся ρ .

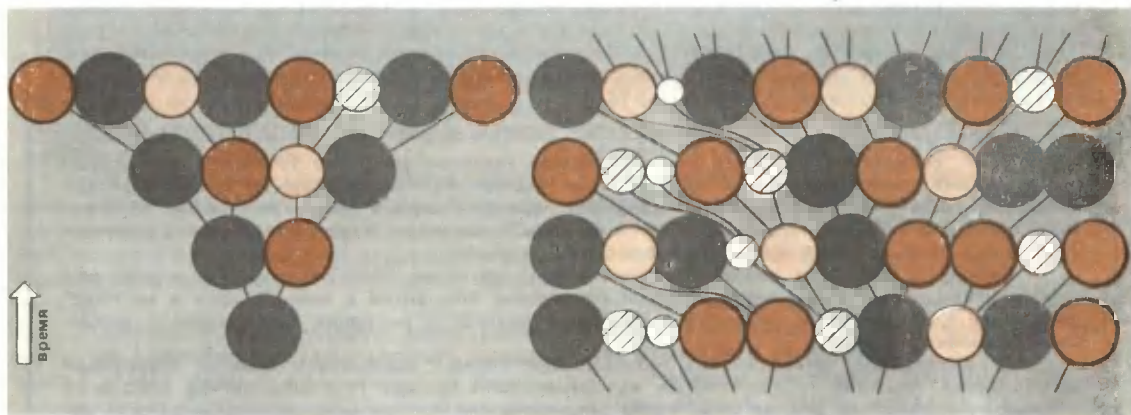
Еще раз подчеркнем, что быстрее всех раздуваются мини-вселенные с наибольшей ρ , поэтому большая часть объема будет приходиться на мини-вселенные именно с $\rho \approx \rho_n$. Только в очень небольшой доле объема в результате случайно повторяющихся флуктуаций, приводящих к уменьшению в среднем плотности ρ , эта падающая плотность в конце концов достигнет порогового значения ρ_1 , при котором флуктуации уже

но систематически уменьшаться независимо от случайностей. Дальнейшая судьба этого раздувающегося объема будет протекать так, как описано в разделе «Раздувание»: он невероятно раздуется и потом превратится в «горячую Вселенную» Фридмана. В общем, произойдет все то, что мы уже описывали, имея в виду нашу Вселенную. Но надо помнить, что это произойдет отнюдь не во всей Вселенной, а в исключительной области, где вследствие повторяющихся случайностей $\rho < \rho_1$.

В целом картина эволюции и структуры Вселенной, предложенная А. Д. Линде, может быть весьма условно представлена последним рисунком. Каждый шарик на нем условно представляет раздувающуюся мини-вселенную. В подавляющей части объема плотность материи $\rho \approx \rho_n \approx 10^{24}$ г/см³. Каждая такая мини-вселенная с $\rho \approx \rho_n$ порождает но-

вые с подобной же плотностью. Их число невероятно быстро множится. При рождении новых мини-вселенных в них флуктуируют не только ρ , но и все физические параметры, включая физические константы и размерность пространства-времени. Согласно этой картине, Вселенная вечно воспроизводит сама себя в виде мини-вселенных

рии, другие — с малой, в некоторых из них — одни физические законы, в других — другие. Кроме того, Вселенная в целом — вечно юная, сама себя воспроизводящая из «вакуумной пены» и поэтому нестареющая. Подавляющая часть ее объема всегда находится в состоянии сверхплотного «кипящего» вакуума. И из этого состояния из-



Эволюция «поколений» мини-вселенных, порожденных мини-вселенной с плотностью ρ_0 порядка планковской ρ_n . Черные кружки — мини-вселенные с $\rho_0 = \rho_n$.

Схема эволюции вечно воспроизводящей себя Вселенной.

с начальной плотностью ρ_0 близкой к ρ_n и с самыми разными наборами физических законов и условий. Время от времени инфляция приводит к падению ρ ниже ρ_1 и возникновению «горячей Вселенной» Фридмана. Если в этой Вселенной физические параметры таковы, что могут возникнуть сложные структуры (а это, в свою очередь, вероятно, большая редкость!), то в такой мини-вселенной возможно появление жизни. Если все это так, то в одной из таких редчайших мини-вселенных живем мы. (Вот сколько «если»!)

У такой Вселенной в целом нет начала во времени и нет конца. На последнем рисунке картина может быть продолжена неограниченно в прошлое и в будущее. Не правда ли — более чем странная Вселенная! Она весьма неоднородна в большом масштабе. Действительно, одни мини-вселенные — с огромной плотностью мате-

редка отделяются «пузыри», которые развиваются в системы, подобные нашей Вселенной. Итак, возможно, природа «пыталась создавать» множество вселенных с самыми разными свойствами. В этой модели взрыв Вселенной происходит вечно. Вечно рождаются новые миры. Образующиеся вновь мини-вселенные, раздуваясь, быстро теряют возможность обмениваться сигналами друг с другом и развиваются, по существу, изолированно и независимо. Из-за флуктуирующих начальных условий история каждой из них не похожа на историю другой.

Соответствует ли нарисованная картина действительности? Будущие исследования проверят это. Но несомненно, что рассказанное отражает необыкновенную глубину и смелость человеческой мысли, берущейся разгадывать невероятные сложности окружающего мира.

ИЗОТОПНАЯ ГЕОХИМИЯ

В марте этого года исполняется 125 лет со дня рождения В. И. Вернадского. В связи с юбилеем в «Природе» будут опубликованы статьи, отражающие современное состояние тех направлений естествознания, фундамент которых был заложен нашим великим соотечественником. Данной публикацией мы начинаем серию материалов, посвященных памяти Вернадского.

В. И. Вернадский придавал очень большое значение развитию геохимии как основы геологических представлений. Он неоднократно подчеркивал, что в веществе планеты заключены движущие силы геологических процессов. «Земная кора в своем механизме обусловлена не геологическими причинами, а свойствами химических элементов, даже строением их атомов...» — писал он в одном из писем Б. Л. Личкову¹.

Наряду с этим для самой геохимии важно изучение геологических процессов, ибо «этим путем можно свести историю всех химических элементов в земной коре к их передвижению, к их миграции из одной геосферы в другую, к миграции закономерной, непрерывно возобновляемой»².

За последнюю четверть века геохимия обогатилась совершенно новыми средствами исследования вещества — изотопными методами. Если прежде геохимик изучал поведение в природных условиях разных химических элементов, то теперь появилась возможность наблюдать различия в геохимической истории атомов одного и того же элемента, отличающихся лишь по массе, — изотопов. В результате выявились удивительные особенности строения и эволюции земных оболочек. Иными словами, изотопная геохимия сыграла решающую роль в становлении современной геологии, которая при описании геологических процессов все больше применяет «число и меру». Изотопная геохимия позволяет точно отвечать на вопросы, когда произошло геологическое событие, с какой скоростью и в каких физико-химических условиях протекали геологические процессы, каков был источник участвующих в них веществ.

Ежегодно в день рождения Вернадского в Институте геохимии и аналитической химии АН СССР, носящем его имя, проводятся чтения, на которых выступают выдающиеся ученые, известные своими трудами по геохимии, космохимии, биохимии и другим областям науки, основанным нашим великим соотечественником. На последнее 28-е чтение был приглашен видный французский геохимик профессор Парижского университета К. Аллегр.

Основное направление работ К. Аллегра и его научной школы — применение радиогенных изотопов в изучении сложнейшей системы мантия — кора — атмосфера Земли. За последние годы это направление дало чрезвычайно интересные результаты: обнаружена латеральная и глубинная изотопная неоднородность мантии и в значительной мере объяснен этот феномен, установлена связь гетерогенности мантии с тектоническими структурами, выявлены временные параметры эволюции системы мантия — кора — атмосфера, в частности подтверждено «катастрофически быстрое» образование атмосферы Земли. Следует отметить, что за работы последних лет К. Аллегра в 1986 г. была присуждена Краффордская премия — самая престижная международная награда в тех областях науки, которые не рассматриваются Нобелевским комитетом.

В интервью с профессором К. Аллегром, подготовленном кандидатом геолого-минералогических наук А. В. Соболевым, рассказывается о некоторых изотопно-геохимических исследованиях ученых Франции — страны, где еще в начале 20-х годов Вернадский прочитал блестящий курс геохимии, не утративший своего значения и сегодня.

Ю. А. Шуколюков,
доктор химических наук,
заместитель директора Института
геохимии и аналитической химии
им. В. И. Вернадского АН СССР

¹ Замечательный образ ученого-новатора и человека (из неопубликованных писем В. И. Вернадского) // Природа. 1963. № 3. С. 58.

² Вернадский В. И. Из прошлого геохимии // Избр. соч. Т. 1. М., 1945. С. 14.

СЕГОДНЯ

Интервью с К. Аллегром

ПРОФЕССОР, среди геологов Вы известны как один из ведущих специалистов в области изотопной геохимии. Расскажите об этом направлении науки и о том, какие геологические проблемы можно решать с его помощью!

Во многих науках используются изотопные метки. Так, биохимик использует короткоживущие радиоактивные изотопы. Ими же пользуется химик, исследующий промышленные процессы, или, допустим, метеоролог.

Геологические процессы очень растянуты во времени, поэтому геологу придется иметь дело с долгоживущей радиоактивностью. Создаваемые ею изотопные вариации отдельных элементов (например, стронция, свинца, неодима) могут быть использованы как индикаторы крупных геологических процессов.

Главная особенность изотопов тяжелых элементов, позволяющая применять их в качестве меток, заключается в том, что они, в отличие от самих элементов, почти неразделимы в геологических процессах. Это означает, что соотношения изотопов в породе, возникшей в результате какого-либо геологического процесса, скажем плавления, будут такими же, как и в исходной породе, хотя по содержанию химических элементов они могут различаться в десятки и даже сотни раз из-за химического фракционирования элементов в ходе плавления. Если исходная порода и продукт плавления станут в дальнейшем закрытыми системами, то в результате их различного химического состава и изотопный состав элементов-индикаторов в них также станет различным. Разница будет тем значительнее, чем больше прошло времени с момента плавления, чем меньше период полураспада радиоактивного изотопа и чем существеннее различаются его концентрации в исходной породе и продукте плавления.

Таким образом, современный изотопный состав пород несет информацию о времени их образования и изотопном составе источника, а также об интенсивности химического фракционирования элементов в ходе образования пород.

Наряду с этим одновременное исследование изотопных систем с различным периодом полураспада компонентов позволяет оценивать скорость геологических процессов. В целом, используя различные изотопные метки, мы можем изучать любые геологические процессы, преобразующие недра Земли, создающие или разрушающие континенты, участвующие в образовании и эволюции атмосферы и океанов.

Вы были одним из тех, кто стоял у истоков изотопной геохимии мантии. Как она возникла и развивалась?

Началом изотопной геохимии мантии можно считать 1960 г., когда П. Гаст обнаружил различия в изотопном составе двух вулканических пород с разных островов Атлантического океана. Изотопный состав стронция в этих породах (одной — с о. Гоф, другой — с о. Вознесения) отличался настолько сильно, что объяснить это различие можно было только раздельным существованием мантийных источников этих пород в течение миллиардов лет. Так было установлено, что в мантии Земли существуют «резервуары», отделенные друг от друга длительное время, т. е. мантия неоднородна по изотопному составу.

Однако вскоре после упомянутой работы и публикации результатов М. Тацумото, установившего, что базальты срединно-океанических хребтов разительно отличаются от базальтов океанических островов по изотопному составу стронция и свинца, исследования в этом направлении приостановились. Причина заключалась в том, что полученные вариации в изотопии стронция и свинца не согласовались между собой. В результате многие ученые пришли к заключению, что использование изотопных данных, дающих такие несогласованные результаты, неправомерно.

После этого периода сомнений значительным шагом вперед стали исследования, показавшие, что имеются существенные вариации изотопного состава неодима в породах океанической коры и что эти вариации хорошо коррелируют с вариациями изотопного состава стронция. Мне посчастливилось

участвовать в этом открытии¹. Таким образом, изотопы стронция и неодима стали надежными индикаторами геологических процессов, дающими согласованные результаты. Затем появились и другие метки: изотопы аргона, гелия и ксенона, изотопы гафния и осмия. Итак, сейчас в нашем распоряжении имеется большое число индикаторов сложных глубинных процессов.

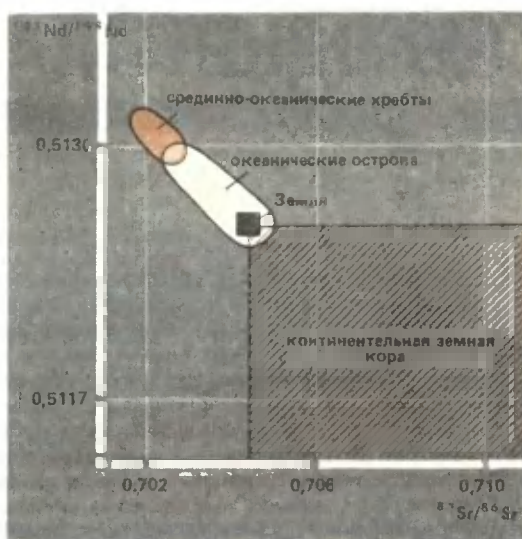
Здесь уместно вспомнить, какое большое значение исследованию «радиохимии планеты» — изучению поведения радиоактивных и радиогенных изотопов в различных процессах в недрах Земли — придавал В. И. Вернадский. Сегодня реализация этой идеи дает прямой выход в геологию и геохимию.

Каковы же главные результаты, полученные изотопной геохимией?

Прежде всего, к настоящему времени получены данные об изотопном составе практически всех типов вулканических и интрузивных пород, известных на Земле, а также об изотопном составе атмосферы и гидросферы. Это была исключительно трудная работа, которая потребовала большого количества длительных и трудоемких анализов зачастую при очень малом объеме исходного материала. Необходимым условием таких исследований явилась чрезвычайно высокая точность используемых масс-спектрометров.

Получение большого количества таких данных для коренных пород континентов и практически всего дна Мирового океана можно считать серьезным достижением. На их основе родились совершенно новые направления изотопно-геохимических исследований.

Во-первых, стало возможным изотопное картирование мантии Земли в целом. Процедура картирования состоит в определении изотопного состава одинакового по возрасту мантийного вещества в каждой конкретной точке пространства. Чтобы убедиться в том, что исследуемые магмы не претерпели значительных изменений на пути от источника до земной поверхности, выбирают те из них, которые преодолевают этот путь с наибольшей скоростью — об этом судят по наличию в породах мантийных ксенолитов. Изотопные исследования таких объектов начаты нами на океанических островах и континентах по всей Земле. Уже первые результаты показывают, что существ-



Изотопный состав неодима и стронция в базальтах срединно-океанических хребтов и океанических островов, а также в гранитоидах континентальной земной коры. Черным квадратом показан средний изотопный состав Земли, определенный по результатам изучения метеоритов. Малая изменчивость изотопного состава базальтов срединно-океанических хребтов свидетельствует об эффективном перемешивании их мантийного источника и его обедненности рубидием и неодимом относительно среднего состава Земли. Источники базальтов океанических островов характеризуются большими вариациями изотопных соотношений неодима и стронция, отражающими его химическую неоднородность в масштабе Земли в целом. Наибольшую же изотопную неоднородность имеет континентальная земная кора, что свидетельствует о неполном перемешивании ее вещества.

вуют крупные региональные изотопные неоднородности мантийного вещества.

Во-вторых, мы можем достаточно строго оценить, каким образом из вещества мантии сформировались континенты. В-третьих, по изотопному составу благородных газов (аргона, ксенона, гелия) в горных породах и атмосфере удается установить закономерности дегазации земной мантии и причины образования газообразной и жидкой оболочек Земли. Таким образом, сейчас в наших руках имеются фундаментальные данные, позволяющие понять историю Земли в целом.

Если говорить о более детальных исследованиях, стоит упомянуть многочисленные данные по изотопному составу базальтов срединно-океанических хребтов, свидетельствующие об исключительной изотопной однородности их мантийного источника. Напротив, изотопный состав базальтов океанических островов весьма разнообразен. Такое различие наводит на мысль, что та часть

¹ Richard P., Shimizu N., Allegre C. J. // Earth Planet. Sci. Lett. 1976. Vol. 31. P. 269—278.

мантии, которая является источником базальтов срединно-океанических хребтов, хорошо перемешана и однородна, в отличие от другой ее части — источника базальтов океанических островов, которая в масштабе Земли представляется плохо перемешанной и химически неоднородной. Наиболее же гетерогенна кора континентов, в которой вариации изотопных отношений в десятки, сотни и даже тысячи раз превосходят вариации, характерные для мантийных пород. Это объясняется тем, что в континентальной коре «существуют» породы, весьма разнообразные не только по составу, но и по возрасту: самые древние из них образовались свыше 4 млрд лет назад, а самые молодые формируются в настоящее время. По этой причине в породах континентов накопилось разное количество радиогенных изотопов.

Но все это — детали, главное же заключается в том, что все упомянутые здесь вариации изотопных отношений и их абсолютные значения представляют собой реальную основу для создания моделей эволюции Земли.

Какие фундаментальные идеи родились на основе накопленных за последние годы изотопно-геохимических данных и как они развивались?

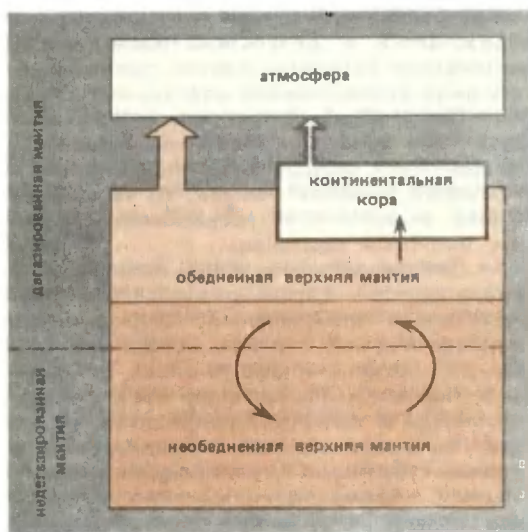
Самой крупной, на мой взгляд, идеей стало понимание того, что континентальная

кора образовалась из вещества мантии. Поскольку часть элементов (например, уран, свинец, калий, рубидий) концентрируется преимущественно в земной коре, мантия обедняется этими элементами. При этом, вследствие чрезвычайно малой массы коры по сравнению с массой мантии, такое обеднение почти не отражается на содержании главных компонентов. И только изотопы несут нам информацию о процессах формирования континентальной земной коры.

Судя по всей совокупности изотопных данных, образцами вещества, поступающего из обедненной мантии, являются базальты срединно-океанических хребтов — глобальных рифтовых зон, в которых, согласно современным представлениям, сформировалась кора океанического типа. Изотопный состав этих базальтов, в частности уменьшение отношения концентраций изотопов стронция $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ и увеличение отношения концентраций изотопов неодима $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, свидетельствует об обеднении их источника рубидием относительно стронция и неодимом относительно самария. Характерно, что данный источник комплементарен (взаимно дополнителен) по изотопному составу коре континентов. Например, обедненности каким-либо радиоактивным изотопом базальтов срединно-океанических хребтов соответствует обогащенность этим же изотопом коры континентов. Отсюда следует, что на основе сохранения массы можно рассчитать массу той части мантии, из которой образовалась континентальная кора.

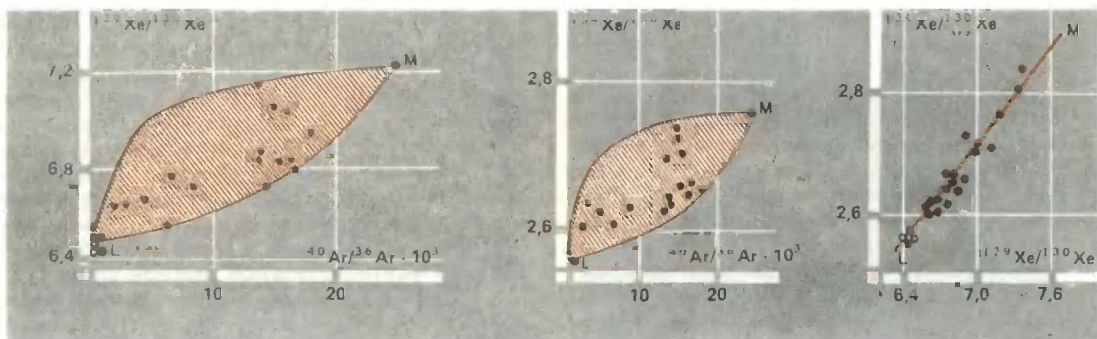
Расчеты, проведенные разными исследователями, показали, что в образовании коры участвовало около 1/3 всей массы мантии². Если предположить, что структура мантии слоиста и обедненным является только верхний слой, то его толщина должна составлять около 650 км. Между прочим, по данным геофизиков, именно на этой глубине находится одна из главных сейсмических границ, условно разделяющая мантию на верхнюю и нижнюю части.

И еще одно замечание. Хотя, согласно изотопным данным, образование континентальной коры началось более 4 млрд лет назад, ее средний возраст составляет лишь 2,1—2,5 млрд лет. Это свидетельствует о постоянном приросте и обновлении континентов. Совершенно прав был Вернадский, утверждая, что Земля сегодня и 2 млрд лет назад — это «разные косми-



Схематическое изображение главных геохимических резервуаров Земли: атмосферы, континентальной земной коры и мантии. Стрелками разной величины показаны направления разных по интенсивности потоков вещества.

² Allegre C. J. // Tectonophysics. 1982. Vol. 81. P. 109—132; Allegre C. J., Hart S. R., Minster J. F. // Earth Planet. Sci. Lett. 1983. Vol. 66. P. 191—213.



Соотношения изотопов благородных газов в стеклах из базальтов срединно-океанических хребтов (черные кружки) и океанических островов (полые кружки). Корреляция между изотопными отношениями доказывает, что в базальтах содержатся газы из двух частей мантии. Первая из них потеряла почти все первичные газы на самых ранних этапах существования Земли, поэтому последующее накопление радиогенных изотопов ^{129}Xe , ^{134}Xe , ^{40}Ar привело к повышенным значениям изотопных отношений [M]. Во второй части мантии, которая слабо или вообще не дегазирована, первичных газов так много, что добавки радиогенных изотопов не сказались на величине изотопных отношений [L].

Точки на графиках соответствуют разным смесям газов, происходящих из двух зон мантии и захваченных магматическими породами. В том случае, когда смешиваются ксенон и аргон разного изотопного состава, точки лежат в некой теоретически рассчитываемой области (выделена штриховкой). Если же смешиваются изотопы одного элемента — ксенона, точки лежат вблизи прямой линии.

ческие тела»: эволюция геологических процессов во времени постоянно изменяет облик нашей планеты.

Другое крупное достижение изотопной геохимии — идея о значительной дегазации мантии Земли. Сам факт потери мантией газов совершенно очевиден: у Земли имеется атмосфера и гидросфера. Однако количественная оценка степени ее дегазации стала возможной только в самое последнее время, когда удалось рассчитать массовый баланс изотопа аргона ^{36}Ar , распределенного между атмосферой и мантией³. Результаты расчета показывают, что по крайней мере 46 % мантии претерпело дегазацию. Но обедненная мантия составляет, как я уже отмечал, лишь 1/3 мантии Земли, следовательно, процесс дегазации захватывал и часть сохранявшей исходный состав, или, как принято говорить, примитивной мантии, которая не была затронута процессами корообразования.

Весьма показательный пример высокой эффективности методов изотопной геохимии — определение возраста земной атмосферы. Радиоактивный изотоп йода ^{129}I быстро распадается (константа распада $4,36 \times 10^{-8} \text{ лет}^{-1}$), образуя изотоп ксенона ^{129}Xe . Это означает, что за время около 100 млн лет ^{129}I почти полностью исчезает и ^{129}Xe перестает образовываться. Следова-

тельно, разница в возрасте между мантией Земли и ее атмосферой должна составлять не более 100 млн лет, т. е. атмосфера должна иметь возраст свыше 4,4 млрд лет. Более точные расчеты показывают, что атмосфера отделилась от мантии через 10—25 млн лет после образования Земли. При этом возникло около 85 % современной атмосферы. И только 15 % атмосферы образовалось в результате последующей постепенной дегазации мантии, проявившейся в виде вулканической деятельности.

Таким образом, мы развили идеи Вернадского о дегазации нашей планеты: если прежде были обнаружены лишь процессы «гелиевого дыхания Земли», то теперь мы немало знаем и о ее ксеноновом, аргоновом, неоновом «дыхании».

Следующей новой идеей, возникшей на основе изотопных исследований, стало представление о чрезвычайной гетерогенности вещества верхней мантии. Вследствие глобального геодинамического цикла, приводящего сначала к образованию океанической литосферы в зонах срединно-океанических хребтов, затем к ее погружению в мантию в зонах субдукции и, наконец, после конвекции с перемешиванием, снова к поднятию, формируется чрезвычайно гетерогенный материал, состоящий из ультраосновных и эглогитовых слоев. В этих последовательных процессах за геологическое время исходное (примитивное) вещество верхней мантии, вероятно, полностью было уничто-

³ Allegre C. J., Staudacher T., Sarda P. // Earth Planet. Sci. Lett. 1986. Vol. 81. P. 127—150.

жено. Оно оказалось замещенным той самой гетерогенной смесью, о которой только что шла речь и для которой характерна обедненность элементами, накопившимися в континентальной земной коре.

Я думаю, что установление этой тонкой структуры мантии, которая часто реально наблюдается в мантийных породах, вышедших на поверхность Земли, — важное достижение изотопной геохимии.

Еще одна новая идея касается базальтов срединно-океанических хребтов. Эти породы являются продуктами существенного переплавления некоего среднего вещества верхней мантии, в то время как базальты океанических островов — результат преобразования вещества самого нижнего, пограничного слоя верхней мантии при более низкой степени его переплавления. Поскольку эологитовый компонент мантийной смеси относится к числу наиболее легкоплавких, он должен преобладать в выделившихся из этой смеси магмах низких степеней плавления и образовавшихся из них породах. Неполным перемешиванием вещества, состоящего из разных компонентов, по-видимому, и объясняются значительные колебания изотопного состава, характерные для базальтов океанических островов. Для пород, образовавшихся в результате высоких степеней плавления мантийной смеси, например базальтов срединно-океанических хребтов, влияние такой тонкой гетерогенности должно быть менее значительно, т. к. при полном переплавлении изотопный состав усредняется.

Однако существует и альтернативная точка зрения, согласно которой магматизм океанических островов связан с плавлением нижней мантии Земли, имеющей примитивный состав. Как Вы относитесь к данной идее?

С моей точки зрения, данная идея несостоятельна, и главное доказательство тому — изотопная гетерогенность мантийного источника базальтов океанических островов. Действительно, если бы эти породы образовались в результате плавления какой-то области мантии, вещество которой подвержено конвекции (именно такой областью представляется нижняя мантия), то их изотопный состав должен был бы отличаться куда большим постоянством. То же можно сказать и об изотопном

составе базальтов срединно-океанических хребтов.

Как согласуются идеи изотопной геохимии с данными геофизики и тектоническими моделями?

Сначала о геофизике. Деление мантии по геохимическим данным на две части с границей между ними на глубине 650—700 км, как я уже отмечал, полностью совпадает с геофизическими сведениями о существовании на этих глубинах крупнейшей сейсмической границы. Если же говорить о геотектонике, то все разрабатываемые нами геохимические модели согласуются, а во многих случаях просто основаны на главных положениях плитовой тектоники. Однако ряд геохимических моделей идет дальше этой теории, объясняя, как и когда образовались континентальная литосфера и атмосфера.

Какие Вы видите нерешенные проблемы в геохимии и геодинамике мантии? С какими из этих проблем связаны Ваши дальнейшие планы?

Прежде всего, мы должны продолжать исследование процессов конвекции в мантии, основываясь на изучении ультраосновных пород. Эти работы пока не окончены, и мы собираемся их продолжать.

Второе направление дальнейших исследований — проблема континентальной литосферы. Континентальная часть литосферы представляет собой очень сложное образование, которое не участвовало в конвекции в течение миллионов лет и поэтому сохранило следы многих геохимических процессов, наложенных друг на друга.

Третья нерешенная проблема связана с выяснением конкретного механизма образования континентальной коры. Мы знаем, что она сформировалась из мантии, однако пока не удается определить, какую роль здесь сыграли вулканические процессы, осадкообразование и метаморфизм. Построение детальной схемы формирования континентов — одна из очень серьезных задач геохимии.

С моей точки зрения, это главные геохимические проблемы, которые могут быть решены на основе изотопных исследований. Этой работе и посвящена деятельность возглавляемой мной Лаборатории геохимии и космохимии Института физики Земли Парижского университета.

ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 1987 года

ПО ФИЗИКЕ — А. МЮЛЛЕР и Г. БЕДНОРЦ

НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ по физике за 1987 год присуждена швейцарскому ученому А. Мюллеру и западногерманскому ученому Г. Беднорцу за экспериментальное обнаружение высокотемпературной сверхпроводимости. Их работа, отмеченная Нобелевской премией, была опубликована в 1986 г. в сентябрьском номере известного в мире физиков журнала «Zeitschrift für Physik». Статья занимает всего 4 страницы и называется «Возможная высокотемпературная сверхпроводимость в системе Ba—La—Cu—O». Авторы исследовали температурную зависимость электрического сопротивления в керамических образцах, полученных путем спекания оксидов лантана, меди и бария. Было замечено, что при температурах 30—35 К начинается резкое падение сопротивления, а при температурах, меньших 13 К, образцы заведомо переходят в сверхпроводящее состояние. Выводы сформулированы очень осторожно: «Похоже, что при температурах 30—35 К наблюдается начало перехода в сверхпроводящее состояние». Если учесть, что существовавшее до тех пор максимальное



Г. Беднорц (слева) и А. Мюллер.

значение критической температуры сверхпроводящего перехода T_c не превышало 23 К, то А. Мюллеру и Г. Беднорцу удалось перекрыть этот рекорд сразу на 7—12 К. На то, чтобы поднять критическую температуру с 4 К до 23 К, ушло целых 62 года (с 1911 по 1973).

С момента поступления статьи в журнал до ее появления в печати прошло около полугода. Немногим больше времени понадобилось для ее последующего признания и награждения авторов Нобелев-

ской премией. Случай, прямо надо сказать, не частый в практике присуждения этих высоких научных наград. Однако начало истории вовсе не предвещало последующего триумфа. Номер журнала со статьей Беднорца и Мюллера отнюдь не превратился мгновенно в «бестселлер», который физики, особенно занимающиеся сверхпроводимостью, стали бы рвать друг у друга из рук. Сотрудники большинства лабораторий мира не кинулись, забросив свои дела, проверять первые полученные результаты и изучать новый класс сверхпроводящих соединений. Нет, большая часть физиков пока спала спокойно. Тем

¹ Подробнее см.: Буздин А. И. Открытие высокотемпературных сверхпроводников // Природа. 1987. № 5. С. 101—102; Гинзбург В. Л. Высокотемпературная сверхпроводимость (мечта становится реальностью) // Там же. № 7. С. 16—30; Панкратов С. Г. Биполяронная сверхпроводимость // Там же. № 9. С. 78—79.

более не наблюдалось никакого волнения в правительственных кругах, финансирующих научные исследования. Все это произошло несколько позже. Но прежде чем продолжить рассказ о научной сенсации минувшего года, несколько слов о самих нобелевских лауреатах.

Карл Алекс Мюллер (Karl Alex Müller) и Иоганн Георг Беднорц (Johannes Georg Bednorz) — сотрудники научно-исследовательской лаборатории Цюрихского филиала фирмы IBM. А. Мюллер значительно старше своего соавтора: он родился в 1927 г. в Базеле (Швейцария), а Г. Беднорц — в 1950 г. в Нойнкирхене (Северный Рейн-Вестфалия, ФРГ). Окончив в 1958 г. знаменитый Цюрихский политехникум (официальное название: Федеральная высшая политехническая школа в Цюрихе), он 5 лет проработал в Женеве, а в 1962 г. защитил докторскую диссертацию по физике твердого тела в Цюрихском университете. В 1970 г. он получил звание профессора. В фирме IBM А. Мюллер работает уже 24 года, он один из 59 членов научного совета IBM. Г. Беднорц получил высшее образование в Мюнстере (ФРГ), в одном из старейших университетов страны, изучал минералогию и кристаллографию. Диплом защитил досрочно. В 1982 г. Г. Беднорц получил степень доктора в Цюрихском политехникуме и стал сотрудником лаборатории фирмы IBM, где уже работал А. Мюллер. В 1983 г. появилась их первая совместная публикация. Основная область научных исследований А. Мюллера и Г. Беднорца — структурные фазовые переходы, и в частности сегнетоэлектрические переходы. А. Мюллер — один из ведущих в мире специалистов по методике использования электронного парамагнитного резонанса для изучения структурных переходов.

Как мы видим, и А. Мюллер, и Г. Беднорц — хорошо известные в своей области специалисты, но в физике сверхпроводимости — они новички. Возможно, это обстоятельство и явилось одной из причин довольно сдержанного приема, который был оказан на первых

порах их работе. Да и сама публикация Беднорца и Мюллера, об этом также следует сказать прямо, едва ли может служить образцом четкого и ясного доказательства наличия сверхпроводящего перехода в области температур 30—35 К. Но основная причина прохладного отношения к результатам Беднорца и Мюллера со стороны «грандов» физики низких температур — широко распространенный скепсис по отношению к самой проблеме высокотемпературной сверхпроводимости.

Документированная история этой проблемы берет начало в 1964 г. с работ В. Л. Гинзбурга и американского физика У. Литтла, в которых теоретически обосновывалась возможность существования сверхпроводников с неферромагнитными механизмами межэлектронного притяжения и со значениями T_c вплоть до 1000 К. Однако сама идея высокотемпературной сверхпроводимости была встречена многими с большим недоверием. Так, известный американский ученый Б. Маттиас (кстати, много сделавший в области получения сверхпроводящих материалов), выступая на первой конференции по проблеме высокотемпературной сверхпроводимости, сказал, что он впервые участвует в конференции по несуществующей проблеме. Был высказан и ряд чисто научных возражений, связанных с возможной неустойчивостью таких систем и т. п.

С тех пор была проведена немалая работа в теоретическом изучении этой проблемы, в результате чего выяснилось, что никаких принципиальных запретов, обусловленных законами физики, для существования высокотемпературных сверхпроводников нет. В экспериментальном же плане успехи до недавнего времени были весьма незначительны. Время от времени в литературе появлялись сообщения об обнаружении высокотемпературной сверхпроводимости, но, как правило, эти сообщения в дальнейшем не подтверждались. Так, в 1978 г. Н. Б. Брандтом и А. П. Русаковым, а также американским физиком П. Чу были получены указания на возможное существование сверхпроводимости в соедине-

нии CuCl при температурах около 100 К. Однако разумного ответа на вопрос, что же реально наблюдалось в этом случае, мы не имеем до сих пор.

Здесь не место и не время обсуждать причины, по которым столь затянулось открытие высокотемпературной сверхпроводимости, но об одной из них все же нельзя не сказать. Она достаточно тривиальна — разобщенность ученых различных специальностей, а также нежелание значительной части исследователей, имеющих «синицу в руках», тратить время и силы на «ловлю журавля в небе» (которого, как многие думали, там могло вовсе и не оказаться). А по иронии судьбы соединения, обнаруживающие высокотемпературную сверхпроводимость, были уже достаточно давно синтезированы в лабораториях США, Франции, Индии, Японии и СССР. В ряде лабораторий химии даже исследовали температурную зависимость электрического сопротивления этих соединений, но ... лишь в интервале температур от 100 до 45 К. Именно это маленькое «но» и отделило просто хорошие работы от исследования, принесшего его авторам Нобелевскую премию.

Возвращаясь к драматической истории развития высокотемпературной сверхпроводимости в конце 1986 — начале 1987 гг., отметим, что нашла все-таки лаборатория, где не поленились проверить результаты Г. Беднорца и А. Мюллера. Это была исследовательская группа из Токийского университета. Именно после выступления руководителя этой группы С. Танаки на собрании Общества материаловедения, проходившем в Бостоне с 1 по 6 декабря 1986 г., начался невиданный доселе бум в физике сверхпроводимости. С января — февраля 1987 г. сообщения о работах в этой области захлестнули не только научные журналы, но и всю прессу, радио и телевидение. После же обнаружения группой исследователей во главе с П. Чу из Хьюстонского университета сверхпроводимости при температурах порядка 90 К, исследования в этой области стали делом государственной важности.

Причина этого весьма проста. Области практического применения сверхпроводящих материалов уже и теперь крайне широки: сверхпроводящие магниты создают гигантские магнитные поля без дополнительной затраты энергии на компенсацию ненужных тепловых потерь в проводах; точнейшие магнитометры позволяют измерять магнитные поля ничтожной величины (на этом, в частности, основаны новейшие методы диагностики состояния человеческого организма) и т. д. Однако значительная часть возможных приложений сверхпроводимости (например, в энерге-

тике, микроэлектронике, транспорте) серьезно сдерживалась необходимостью работать при очень низких температурах, для достижения которых нужен дорогостоящий жидкий гелий. Поэтому работа Г. Беднорца и А. Мюллера важна не столько и не только тем, что им удалось превзойти рекордную критическую температуру на 7—12 К. Она дала мощный толчок стремительному развитию исследований по всей проблеме высокотемпературной сверхпроводимости. А это, в свою очередь, привело к открытию сверхпроводников с температурами перехода порядка 100 К — выше

температуры сжижения азота, дешевого и доступного. Такой качественный скачок уже решает значительную часть проблем, связанных с практическими применениями новых сверхпроводящих материалов. Поэтому неудивительно, что пионерская работа Г. Беднорца и А. Мюллера нашла столь быстрое признание у Нобелевского комитета.

Е. Г. Максимов,

доктор физико-математических наук
Физический институт
им. П. Н. Лебедева АН СССР
Москва

ПО ХИМИИ — Ч. ПЕДЕРСЕН, Д. КРАМ, Ж.-М. ЛЕН

НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ по химии за 1987 г. присуждена американским ученым Ч. Педерсену и Д. Краму и французскому химику Ж.-М. Лену за определяющий вклад в развитие химии макрогетероциклических соединений, способных избирательно образовывать молекулярные комплексы типа «хозяин-гость».

Чарлз Педерсен (Charles J. Pedersen) родился в Южной Корее в 1904 г. Норвежец по происхождению, принял гражданство США в 1953 г. Степень магистра получил в Массачусеттском технологическом институте в 1927 г. С этого же года и до своей отставки в 1969 г. работал химиком-исследователем фирмы «Дюпон».

Дональд Джеймс Крам (Donald James Kram) родился 22 апреля 1919 г. в Честере (штат Вермонт, США). Окончил Гарвардский университет в 1942 г. С 1947 г. работает в Калифорнийском университете в Лос-Анджелесе. Автор известного стереохимического правила асимметрической индукции. Член Национальной академии наук США и Американской академии искусств и наук.

Жан-Мари Лен (Jean-Marie Lehn) родился 30 сентября 1939 г. во Франции. Окончил Страсбургский университет в 1960 г. Работал в Националь-

ном центре научных исследований, затем стажировался в Гарвардском университете (США) в лаборатории лауреата Нобелевской премии Р. Вудворда: участвовал в работе по полному синтезу витамина В₁₂ — природного макроциклического комплекса. Профессор Университета Луи Пастера в Страсбуре с 1970 г. С 1979 г. — профессор Коллеж де Франс (Париж). Иностранный член Национальной академии наук США и Американской академии искусств и наук.

В 1962 г. Ч. Педерсен в ходе одного из синтезов в качестве неожиданного побочного продукта выделил и идентифицировал макроциклический полиэфир. Полученное соединение плохо растворялось в метиловом спирте, однако его растворимость резко возрастала в присутствии солей натрия. Педерсен предположил, что это обусловлено образованием комплекса, в котором катион металла располагается во внутренней полости макроциклического соединения и удерживается там за счет ион-дипольного взаимодействия с атомами кислорода, образующими эфирные связи. Такие синтетические комплексы получили название молекулярных комплексов включения, ранее этого же типа соединения были найдены в природе: ими оказались некоторые макроциклические антибио-

тики, например валиномицин.

Вскоре предположение Ч. Педерсена было строго подтверждено в экспериментах. За относительно короткий период Ч. Педерсен получил несколько десятков макроциклических полиэфиров (от 12- до 60-членного), содержащих от 4 до 20 атомов кислорода. Из них наибольшую эффективность в образовании комплексов проявляли



Ч. Педерсен.



Д. Крам.



Ж.-М. Лен.

соединения с 5—10 атомами кислорода, каждый из которых разделен двумя атомами углерода. Для таких макроциклических полиэфиров Педерсен предложил общее название краун-эфиры (от англ. crown — корона), стремясь подчеркнуть их способность «короновать» катионы, подобно короне, венчающей монарха.

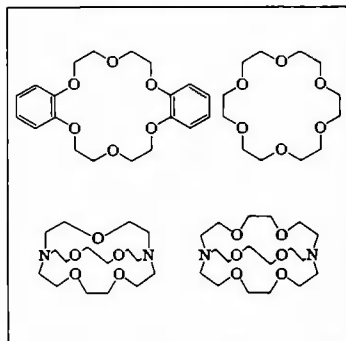
В ряду близких по хими-

ческим свойствам катионов наиболее прочные комплексы с краун-эфирами образуют те, геометрические размеры которых соответствуют размерам внутримолекулярной полости таких эфиров. Это обеспечивает высокую избирательность комплексообразования — одного из основных свойств краун-эфиров.

Первую статью с описанием синтеза и комплексообразующих свойств краун-эфиров Ч. Педерсен опубликовал в 1967 г. Эта статья сразу же привлекла внимание многих химиков и стала отправной точкой бурного и очень плодотворного развития химии макроциклических соединений. Редко новая область химии может похвастаться столь же быстрым признанием и развитием. Однако дальнейшие успехи в этой области химии связаны с именами многих других исследователей, открывший макроциклические комплексы Ч. Педерсен вышел в отставку.

Почему же эти соединения оказались в центре внимания химиков всего мира?

Селективное образование комплексов занимает центральное место во многих химических процессах. Особо важную роль оно выполняет в биологических системах — в процессах ферментативного катализа и ингибирования, сохранения и передачи генетической информации, иммунологического ответа, переноса ионов через биологические мембраны и т. д. Краун-эфиры были первыми синтетическими соединениями, способными, подобно некоторым природным веществам, избирательно связывать ионы или молекулы, модифицировать их свойства и переносить эти ионы или молекулы из одной фазы в другую, в том числе через искусственные и биологические мембраны. Это послужило достаточным основанием для поиска новых синтетических высокоселективных лигандов (рецепторов) в ряду краун-эфиров и криптанов — более сложных ди- и полициклических аналогов¹.



Макроциклические соединения: краун-эфиры (вверху) и криптан-ды.

Создание новых молекул, способных селективно взаимодействовать с тем или иным субстратом, далеко не тривиальный процесс. Чтобы синтез был успешным, в большинстве случаев прежде необходимо мысленно проанализировать процесс, в котором взаимодействуют субстрат и рецептор, и четко представить возникающие при этом молекулярные требования реакции, что по важности иногда превосходит собственно синтетическую работу.

Для развития направленных методов синтеза селективных макроциклических рецепторов особенно плодотворными оказались две концепции: разработанная Д. Крамом концепция «хозяин-гость» и предложенная Ж.-М. Леном концепция «супрамолекулярной химии».

В соответствии с концепцией Крама взаимодействие по типу «хозяин-гость» происходит за счет стереоэлектронной комплементарности связывающих центров молекул «хозяина» и «гостя». Только при наличии такой комплементарности возможно образование комплекса высокой структурной организованности. Молекула-«хозяин» должна или заранее иметь полость, в которую войдет «гость», или полость должна образоваться в ходе структурной реорганизации «хозяина» в процессе образования комплекса. В роли «гостя» могут выступать органические молеку-

¹ Подробнее о краун-эфирах и криптанах см.: Богатский А. В., Лукьяненко Н. Г.

Синтетические макроциклические комплексоны // Природа. 1980. № 7. С. 81—87.

лы, ионы металлов и даже агрегаты с уже связанным металлом. Комплекс «хозяин-гость» может образовываться за счет любых нековалентных взаимодействий.

На основании этих представлений Д. Крам развил общие подходы к синтезу макроциклических лигандов, способных селективно связываться с ионами и молекулами. Он предложил методы синтеза хиральных краун-эфиров (в основном на основе бинафтила), показал, что эти соединения проявляют высокую избирательность в отношении стереоизомеров при взаимодействии с оптически активными соединениями, могут селективно переносить их через жидкие мембраны, доказал, что хиральные краун-эфиры являются также отличными катализаторами некоторых асимметрических реакций. В последние годы Д. Крам интенсивно занимается разработкой методов синтеза макроциклических лигандов с жесткой внутримолекулярной полостью, геометрические размеры которой определяются самой структурой молекулы. Им получены соединения с самой высокой способностью к избирательному образованию комплексов.

Первоначально краун-эфиры и криптанды рассматривались как соединения, способные избирательно связывать катионы металлов. По мере развития химии этих соединений стало ясно, что они могут селективно взаимодействовать со всеми видами субстратов — катионами, анионами, заряженными и нейтральными молекулами. При этом в зависимости от структуры макроциклический рецептор может образовывать

комплексы с одним или несколькими субстратами — одинаковыми или разными. Такие молекулярные комплексы Ж.-М. Лен считает супрамолекулами, обязательный атрибут которых — геометрическая и энергетическая комплементарность субстрата и рецептора. Именно такая комплементарность обеспечивает их взаимное распознавание и селективное связывание. Рецептор, содержащий реакционноспособные группы, может выступать в роли катализатора или молекулярного реагента, поскольку способен с высокой селективностью вызывать быстрое химическое изменение связанного субстрата. Это позволяет рассматривать такие рецепторы как модели природных ферментных систем, т. е. как искусственные ферменты. Рецепторы, дополнительно снабженные липофильными группами, могут также переносить связанный субстрат через мембраны.

Все эти теоретические положения Ж.-М. Лен блестяще подтвердил в многочисленных изящно выполненных экспериментах. Он впервые разработал общие подходы к синтезу ди- и полимакроциклических рецепторов, одновременно содержащих в своей молекуле макроциклические субъединицы, различающиеся способностью образовывать комплексы (например, порфириновые и краун-эфирные циклы). Лен установил ряд тонких зависимостей такой способности от структуры соединений. Он показал, что необычные состояния атомов и молекул могут стабилизироваться в комплексах. Синтезировал и изучил свойства макроциклических металлорецепторов, об-

разующих комплексы с двумя или более металлами, находящимися в разных степенях окисления. На примере ряда макроциклических рецепторов, имеющих в своей молекуле реакционноспособные функциональные группы, показал, что связанный внутри молекулы рецептор субстрат может претерпевать специфическую трансформацию, т. е. синтетические рецепторы способны действовать как природные ферменты. Лен получил, например, рецепторы, которые проявляют протоАТФазную и протокиназную активность. Ж.-М. Лен исследовал механизм транспорта субстратов через искусственные мембраны с помощью макроциклических рецепторов.

Фактически Ж.-М. Лен разработал методологию молекулярного дизайна рецепторов различной молекулярной архитектуры, которые, подобно биологическим молекулам, способны распознавать субстрат, селективно связывать его, химически трансформировать и переносить.

Химия макроциклических соединений продолжает развиваться очень быстрыми темпами. В последние 10 лет работы в этой области широко развернуты и у нас в стране. Можно ожидать, что мы станем свидетелями еще многих открытий в этой необычайно плодотворной области науки, развивающейся на стыке органической, неорганической и биологической химии.

Н. Г. Лукьяненко,

доктор химических наук
Физико-химический институт
им. А. В. Богатского АН УССР
Одесса

ПО МЕДИЦИНЕ — С. ТОНЕГАВА

НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ по медицине за 1987 г. присуждена японскому исследователю С. Тонегаве за выдающиеся работы в области иммуногенетики.

Сусуму Тонегавы (Susumu Tonegawa) родился в 1939 г. в г. Нагоя (Япония). Образование получил в одном из старейших

университетов Японии в г. Киото. В 1968 г. уехал в США, где работал в ряде университетов. Степень доктора философии получил в университете Сан-Диего (штат Калифорния). Когда в 1971 г. срок американской визы закончился, Тонегавы переехал в Швейцарию, где обосновался в Базельском институте иммуно-

логии. Именно там он начал работать над проблемой, которую биологи пытались решить в течение нескольких десятилетий, т. е. понять механизм образования всего многообразия иммуноглобулинов.

Область исследований, которая отмечена в этом году Нобелевской премией, сравни-

тельно молодая, но чрезвычайно быстро развивающаяся. Об этом говорит тот факт, что за последние 70 лет эта премия 8 раз присуждалась за работы в области иммунологии.

Иммунная система защищает организм от вторжения чужеродных агентов (антигенов). Ключевая роль в этом принадлежит иммуноглобулинам и рецепторам Т-клеток. Те и другие участвуют в распознавании антигенов и их устранении. Молекулы иммуноглобулинов состоят из константной (С) и вариабельной (V) частей, что обуславливает их необычайное функциональное разнообразие и обеспечивает распознавание и взаимодействие практически с любыми антигенами, как природными, так и искусственного происхождения. Такое же строение, как выяснилось позже, имеют рецепторы Т-клеток. В организме содержится 10^9 — 10^{11} молекул иммуноглобулинов, имеющих различия в вариабельных доменах. Примерно таким же числом молекул представлены рецепторы антигенов.

С позиций постулата «один ген — одна полипептидная цепь» вопрос о том, как закодировано, уместаясь в геноме, такое множество белков, выглядел неразрешимым. Гипотеза, в общем виде отвечающая на этот вопрос, была в середине 60-х годов высказана У. Дрейером и Дж. Беннетом. Они предположили, что вариабельные и константные домены полипептидных цепей иммуноглобулинов кодируются разными сегментами гена, локализованного в различных участках геномной ДНК. Предполагалось далее, что рекомбинации этих сегментов в соматических клетках могут обеспечить множественность генов и, в конечном счете, иммуноглобулинов. Эта довольно стройная и кажущаяся теперь разумной идея казалась в то время еретической и недоказуемой.

Однако с внедрением в лабораторную практику методов генной инженерии постановка проверочного эксперимента оказалась принципиально возможной. Впервые такой эксперимент и был осуществлен в 1976 г. в Базельском институте иммуно-



С. Тонегава.

логии С. Тонегавой и Н. Хозуми. Сравнивая строение С- и V-генов иммуноглобулина в зародышевых клетках и в зрелых клетках (миелома МОРС 321), они показали их поразительное отличие. В геноме зрелых клеток гены, соответствующие V- и С-доменам, были сближены, что нельзя было сказать о геноме зародышевой ткани. За этой пионерской работой последовал каскад статей, подтверждающих и развивающих первую. В ряду этих исследований С. Тонегаве, который продолжал работать очень активно, принадлежат многие приоритеты.

Он установил прерывистую структуру генов иммуноглобулинов, причем показал, что значения последовательности генов (экзоны) соответствуют доменам полипептидных цепей. Были выявлены соединительные сегменты, участвующие в стыковке с вариабельными генами, а также универсальные последовательности, вероятно необходимые для точного сочленения этих сегментов генов. Был изучен кластер генов тяжелых цепей. В начале 80-х годов С. Тонегава (совместно с У. Гилбертом и др.) локализовал сигнальные последовательности в генах тяжелых цепей, необходимые для экспрессии этих генов на определенных стадиях дифференцировки клеток.

Цена открытого явления тем выше, чем более широкое подтверждение оно находит в природе. Не вызвало сомнений, что именно Тонегава был первым, кто увидел мозаичное строение иммуноглобулиновых генов. Были и другие исследователи генов иммунной системы, среди них Ф. Ледер, Л. Худ, К. Раевский, Т. Хонзе, Д. Балтимор и многие другие. Нам кажется, что решающую роль сыграло то обстоятельство, что Тонегава был также среди первых, кто установил строение генов рецепторов Т-клеток. Молекулы этих рецепторов и кодирующие их гены имеют удивительное сходство с иммуноглобулинами и их генами. Это относится как к общим принципам строения, так и к механизмам перестройки генов: те же вариабельные, соединительные и константные сегменты, те же сигнальные последовательности, участвующие в переносе генов.

Уникальные эксперименты Тонегавы, позволившие ему установить генетическую основу всего многообразия антител, имеют большое значение для медицины. Возможно, уже в ближайшем будущем это позволит преодолеть отторжение тканей при трансплантации, понять механизм аутоиммунных заболеваний, а также получать новые более эффективные вакцины.

Сейчас С. Тонегава — профессор Массачусеттского технологического института. Как и прежде, он работает с небольшой группой сотрудников. Несмотря на это, он часто опережает других, оставаясь долгое время лидером.

О. Л. Поляновский,
доктор биологических наук
Институт молекулярной биологии
АН СССР
Москва

«ЧЕМПИОНЫ» ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ДРЕВНОСТИ

Ю. А. Шуколюков,
доктор химических наук
Москва

В НАЧАЛЕ 70-х годов в Африке и Северной Америке были обнаружены древние докембрийские породы возрастом около 3,4—3,5 млрд лет. Поиски остатков земной коры, возникшей еще ранее, оставались безрезультатными до конца 70-х годов, когда удалось наткнуться в Западной Гренландии на район Исуа, где сохранился геологический «ландшафт» со времени, отстоящего от нас на 3,81 млрд лет. Породы этого района в Западной Гренландии в течение нескольких лет были «чемпионами» геологической древности¹.

Оставалось незаполненным белое пятно в истории Земли между ее образованием 4,6 млрд лет назад и возникновением древней коры в Гренландии. «Пятно» размером в 800 млн лет. Что происходило на Земле в этот период? Какие породы уже существовали?

В эти же 70-е годы в Национальном университете в Канберре (Австралия) конструировали и изготавливали под руководством известного геохимика У. Компстона сложнейший прибор для измерения геологического времени — масс-спектрометр со вторичной ионной эмиссией. Принцип действия этого «геохронометра» основан на том, что при бомбардировке полированной поверхности минерала ускоренными ионами из нее выбиваются вторичные ионы химических элементов, входящих в состав минерала. Разделяя их магнитным полем, как

в обычном масс-спектрометре, удается определить не только химический, но и изотопный состав минерала. Первичный пучок бомбардирующих ионов можно сделать очень узким — до 5 мкм в диаметре. Поэтому и анализ возможен в чрезвычайно ограниченной области, выбранной с помощью оптической системы на поверхности отдельных зернышек минералов размером в десятые доли миллиметра. Это позволяет, таким образом, определять возраст минералов весьма локально, что очень важно: вся прежняя практика уран-свинцовой изотопной геохронологии свидетельствовала о крайне неоднородном распределении урана и свинца в кристаллах циркона — основного минерала, используемого для определения возраста пород. Те участки кристаллов, где урана много, обычно оказываются нарушенными, неспособными сохранять накопленный радиогенный свинец. Здесь кристаллическая структура переходит в стеклообразную, метамиктную. Радиогенный свинец легко диффундирует из нее. Те же участки, где урана мало, обычно сохраняют радиогенный свинец, накопленный в ходе геологической истории, т. е. возраст минерала в этих местах не искажается.

При изотопном датировании таких сложных зерен прежними методами, т. е. целиком, получались из-за потерь части свинца заниженные значения возраста, меньшие истинного времени образования циркона. Были, правда, разработаны способы химического разделения доброкачественной и нарушенной частей кристаллической структуры для определения возраста по ненарушенным кристал-

лическим частям. Но эти способы не всегда пригодны. Поэтому первое применение масс-спектрометра со вторичной эмиссией ионов состояло в определении возраста уран-свинцовым методом в разных участках кристаллов циркона.

В 1984 г. Компстон и его коллеги обнаружили в детритовом цирконе, образовавшемся при выветривании какой-то более древней породы и находящемся ныне в кварцитах горы Нэрриер (Западная Австралия), несколько десятков зерен возрастом 4,18 млрд лет. А еще через 2 года журнал «Nature» опубликовал новое экстренное научное сообщение: в Западной Австралии, в 60 км к северо-востоку от горы Нэрриер, в районе с координатами 26°11' ю. ш. и 116°58' в. д., в метаморфизованном осадочном комплексе Джек-Хиллс найдены зерна детритового циркона возрастом 4,3 млрд лет².

Это важно во многих отношениях. Прежде всего, обнаруженные цирконы — древнейшие из земных минералов, они возникли всего через 0,3 млрд лет после образования Земли. Далее, новая находка существенно расширяет область распространения свиты Нэрриер, что повышает ее геологическое значение. Кроме того, в районе Джек-Хиллс древнейшие зерна встречаются среди более молодых зерен кластического циркона в 5 раз чаще, чем в районе горы Нэрриер, а это позволит в ближайшее время проверить их «сверхдревний» возраст обычным масс-спектрометрическим методом.

¹ См. также: Бибикова Е. В. Древнейшие процессы дифференциации на Земле // Природа. 1984. № 4. С. 114—115; Древнейшие породы Земли // Там же. № 1. С. 118.

² Compston W., Pidgeon R. T. // Nature. 1986. Vol. 321. P. 766—769.

Космические исследования

Экспедиция на станции «Мир»: июль—август 1987 г.

В июле—августе 1987 г. основной экипаж станции — космонавты Ю. В. Романенко и А. И. Лавейкин, а затем Ю. В. Романенко и А. П. Александров¹ — продолжил работу на орбите. В этот период в основном была завершена разгрузка автоматического корабля «Прогресс-31». 24—29 июля Ю. В. Романенко и А. И. Лавейкин в составе советско-сирийского экипажа работали над выполнением международной научно-исследовательской программы.

После возвращения А. С. Викторенко, А. И. Лавейкина и М. Фариса на Землю основной экипаж выполнил перестроение орбитального комплекса «Мир»: корабль «Союз ТМ-3» был отстыкован от астрофизического модуля «Квант» и пристыкован к базовому блоку со стороны переходного отсека. Перестроение было сделано для обеспечения дальнейших транспортных операций по снабжению орбитального комплекса топливом и различными грузами с помощью кораблей «Прогресс».

Много времени экипаж уделял медико-биологическим и биотехнологическим исследованиям. Проводились медицинские обследования космонавтов для анализа и прогнозирования состояния сердечно-сосудистой системы в условиях космического полета, контроля зрения и оценки параметров спектральной чувствительности зрения, определения массы тела.

Продолжались биологи-

ческие исследования на установках «Рост», «Фитон», «Светоблок»; в них была получена информация о развитии различных растений (в частности, трехмесячных саженцев кедра и хлорофитума) в условиях слабой гравитации.

Космонавты выполнили ряд биотехнических экспериментов. На установке «Светлана» выделены активные микроорганизмы, производящие кормовой антибиотик для нужд животноводства, а на установке «Ручей» проводилась очистка нескольких партий интерферона, полученного с помощью генной инженерии, и противогриппозного препарата. Отличительная особенность установки «Ручей» — более высокая производительность, достигаемая за счет того, что процесс электрофоретической очистки исходных веществ осуществляется в слое движущейся жидкости.

По программе космического материаловедения космонавты начали работы с технологической установкой «Корунд», предназначенной для производства в условиях слабой гравитации различных полупроводниковых материалов с улучшенными характеристиками. Входящая в состав установки микроЭВМ позволяет выполнять эксперименты в автоматическом режиме.

По программе геофизических исследований с целью изучения природных ресурсов Земли и окружающей среды космонавты регулярно вели наблюдения и съемки с помощью ручных и стационарных фотоаппаратов и спектрометров. Так, были выполнены очередные серии фотосъемок суши и акватории Мирового океана.

15 июля 1987 г. по программе аэрокосмического эксперимента «Телегео-87» была проведена съемка отдельных районов территории ПНР. Работы выполнялись в рамках международного комплексного проекта «Изучение динамики геосис-

тем дистанционными методами. Задача эксперимента, осуществляемого специалистами НРБ, ВНР, СРВ, ГДР, МНР, ПНР, СССР и ЧССР по программе «Интеркосмос», — дальнейшая отработка методов изучения различных экологических систем с помощью аэрокосмических средств дистанционного зондирования Земли. Фотографирование земной поверхности с борта комплекса «Мир» сопровождалось съемкой с самолетов-лабораторий.

Большое место в работе экипажа занимали астрофизические исследования с помощью аппаратуры модуля «Квант». В серии экспериментов с использованием ультрафиолетового телескопа «Глазар» была получена информация о коротковолновом излучении галактик; объектами исследований стали УФ-источники в созвездиях Кормы, Журавля, Павлина, Андромеды, Южной Рыбы, в области вблизи α Павлина и α Эридана.

С помощью международной обсерватории «Рентген» изучались сверхновая в Большом Магеллановом Облаке, созвездие Лебедя, рентгеновский источник в созвездии Геркула. Проводились также измерения, необходимые для составления рентгеновских карт отдельных участков звездного неба. 13 августа приборы обсерватории зафиксировали мощный всплеск γ -излучения космического происхождения.

Космические исследования

Биоспутник «Космос-1887»

29 сентября 1987 г. в Советском Союзе был запущен биоспутник «Космос-1887»; ракета-носитель вывела его на околоземную орбиту с высотой 224 км в перигее и 406 км в апо-

¹ О частичной замене основного экипажа см.: Природа, 1987. № 12. С. 89.

гее, наклоном $62,8^\circ$ и периодом обращения 90,5 мин.

На борту этого восьмого специализированного биоспутника¹ установлены комплексы научно-исследовательского аппарата, предназначенные для изучения влияния факторов космического полета на обезьян, крыс и другие биологические объекты, а также для радиационно-физических исследований. Значительный объем исследований и экспериментов проводился в рамках международного сотрудничества по исследованию космического пространства в мирных целях. В них принимали участие ученые ВНР, ГДР, СРР, ЧССР, США, Франции и Европейского космического агентства.

Длительность полета «Космос-1887» составляла 14 сут, что позволило исследовать физиологические реакции организма как в начальный (1—7 сут), так и в переходный (8—14 сут) периоды адаптации к невесомости. На обезьянах (двух самцах макак-резусов в возрасте четырех лет, весом около 4 кг) проводились исследования вестибулярного аппарата, двигательной и центральной нервной систем, биоритмов. До и после окончания полета дополнительно определялись клиническое состояние, газо- и энергообмен, иммунитет, водно-солевой обмен, структура и биохимия мышечной и костной тканей.

На крысах (самцах линии Вистар СПФ, поставленных Институтом экспериментальной эндокринологии Словацкой академии наук в Братиславе) изучались изменения обмена веществ в переходный период, оценивалась роль различных регуляторных систем в механизмах адаптации, а также динамика адаптации к невесомости отдельных функциональных систем и организма в целом (воз-

раст крыс к началу полета составлял 3 мес., вес — около 300 г).

Исследования по гравитационной биологии ориентировались на поиск биологических эффектов невесомости и выяснение механизмов адаптации к измененной силе тяжести в основном на клеточном уровне.

Два эксперимента были предложены юными биологами Московского городского дворца пионеров и школьников. В первом из них изучалась регенерация различных фрагментов расщепленного тела червя — молочной планарии — в невесомости. Во втором эксперименте на культуре кишечной палочки, зараженной умеренным фагом, исследовался переход фага из неактивного состояния в активное под действием факторов космического полета, а на культуре стрептококка — синтез антибиотика низина.

Радиобиологические и радиационно-физические исследования были направлены на изучение радиационной обстановки в околоземном пространстве и влияния радиации на клеточные структуры, а также на отработку электростатической защиты космических аппаратов от электронов.

12 октября 1987 г. спускаемый аппарат биоспутника совершил посадку в районе г. Мирного (Якутская АССР). На месте приземления были начаты работы по намеченному плану.

С. А. Никитин
Москва

Астрофизика

Барийный остров во Вселенной

Квазары — самые далекие из известных на сегодня дискретных астрономических объектов. В расширяющейся Вселенной они играют роль своеобразных вешек, обозначающих ту область пространства, в которой, по мнению специалистов, основные свойства материального мира такие же, как и в земных лабораториях.

Рекорд дальности принадлежит недавно открытому квазару с красным смещением $Z=4,01$. (Напомним, что в расширяющейся Вселенной красное смещение есть мера удаленности источника: чем больше Z , тем дальше от нас находится источник.) Единственным материальным объектом, охватывающим область Вселенной, большую, чем та, в которой расположены известные квазары, является микроволновое фоновое излучение, представляющее собой «реликт» первичного взрыва, породившего Вселенную. Оно заполняет область, границы которой соответствуют красному смещению $Z \approx 1000$.

А что представляет собой промежуточная область пространства (и, соответственно, эволюционного времени расширяющейся Вселенной), которая заключена в диапазоне красных смещений от 4 до 1000? Можно ли в ней обнаружить что-либо, кроме фотонов реликтового излучения?

Перед астрофизикой последнего десятилетия с неослабевающей остротой встал вопрос о распределении квазаров в зависимости от красного смещения. Многие астрономы считают, что квазары с $Z > 4 \div 5$ существуют и их распределение плавное «сходит на нет» по мере увеличения Z ; объясняется это тем, что квазары возникают во Вселенной на определенной фазе ее развития. Тот факт, что квазары с $Z > 4$ не наблюдаются (а попытки такого рода делались неоднократно), объясняют несовершенством методик наблюдения. В то же время оппоненты этой гипотезы приводят свои доводы о резком уменьшении числа квазаров с $Z > 4$.

Оригинальное подтверждение последней точки зрения выдвинули А. Д. Долгов (Институт экспериментальной и теоретической физики) и А. Ф. Илларионов, Н. С. Кардашев, И. Д. Новиков (Институт космических исследований АН СССР). Они предлагают космологическую модель барийного острова во Вселенной. В ней отсутствие квазаров с $Z > 5$, а также ряд других наблюдательных фактов по флуктуациям распределения реликтового из-

¹ Ранее были запущены специализированные биоспутники: «Космос-605» (1973), «Космос-690» (1974), «Космос-782» (1975), «Космос-936» (1977), «Космос-1129» (1979), «Космос-1514» (1983), «Космос-1667» (1985). С 1975 г. исследования ведутся в рамках международного сотрудничества.

лучения объясняется отсутствием обычного вещества (т. е. протонов, ядер более тяжелых элементов и электронов) на соответствующих этим красным смещениям расстояниях. Иными словами, согласно этой модели, наша Вселенная представляется барионным островом в море невидимой материи (или, быть может, в пустоте). Такой остров мог возникнуть в результате спонтанного нарушения СР-инвариантности на стадии инфляционного расширения Вселенной¹. Причем такое нарушение может охватывать не всю Вселенную, а лишь некую ограниченную область («пузырь») и порождать в ней небольшой избыток барионов над антибарионами (или наоборот). Вне «пузыря» Вселенная может быть полностью зарядово-симметричной и, стало быть, лишенной каких-либо вещей типа кварзов.

Авторы модели указывают на ряд критических наблюдательных тестов, которые находятся вблизи порога чувствительности наблюдательной астрофизики ближайшего будущего.

Препринт ИКИ АН СССР.
№ 1291. 1987.

Астрофизика

Следы космической катастрофы

Венгерские астрономы М. Кун, Л. Балаш и И. Тот (М. Kún, L. Balázs, I. Tóth), изучая инфракрасные изображения неба, полученные с помощью спутника «ИРАС», использовали ЭВМ для объединения нескольких небольших карт в одну и обнаружили на ней гигантский «бублик» диаметром 7° (что в 14 раз больше лунного диска). В оптическом диапазоне удалось найти несколько облаков ионизованного газа, совпадающих с «бубликом», и по

ним определить расстояние до объекта (1 кпк) и его диаметр (почти 400 св. лет). Ученые заподозрили, что перед ними гигантский «пузырь», заполненный горячим газом, — остаток взрыва сверхновой звезды. Сам горячий газ практически невидим, но спрессованный при его расширении холодный межзвездный газ составляет толстую полупрозрачную стенку «пузыря», похожую в проекции на бублик.

Действительно, в спектрах звезд, расположенных за пузырем, были зарегистрированы линии поглощения очень горячего газа, нагретого почти до 1 млн К. А внутри пузыря найдено скопление массивных звезд, к которому вполне могла принадлежать когда-то и сверхновая. Но самое интересное обнаружено за пределами пузыря: массивная горячая звезда, с большой скоростью улетающая в сторону от него. Обычно массивные звезды движутся медленно, а эта оказалась настолько бегуном (редкие звезды этого типа астрономы называют звездами-беглецами). Оценив возраст звезды и зная направление ее полета, ученые определили, что около 3 млн лет назад она начала свое движение почти точно из центра пузыря.

По мнению венгерских астрономов, звезда была спутницей другого гиганта, который 3 млн лет назад взорвался и образовал расширяющуюся оболочку. До взрыва звезды с большой скоростью вращались вокруг общего центра тяжести. Взрыв разрушил одну из них, а вторая, лишившись «опоры», вылетела, как из прачи, и с тех пор стремительно удаляется от места космической катастрофы.

Astrophysics and Space Science. 1987. Vol. 134. № 2.
P. 211—217 (США).

Метеоритика

Марсианские породы на Фобосе!

За последние 8 лет высказано немало предположений, что так называемые SNC-метеориты — осколки пород Марса, попавшие на Землю. И действительно, их петрологические особенности, элементный и изотопный состав, небольшой возраст кристаллизации, содержание летучих веществ, очень близкое к наблюдаемому в атмосфере Марса, — все, по-видимому, свидетельствует о марсианском происхождении этих метеоритов.

Е. Стрикленд (Е. Strickland; Университет им. Вашингтона, Сент-Луис, США) предложил объяснение того, каким образом эти метеориты попадают с Марса на Землю. При «скользящем» ударе метеоритов о поверхность Марса с нее срываются потоки испаренного вещества, способные, подобно ракетному двигателю, ускорить осколки взрыва до скорости (5,04 км/с), достаточной, чтобы преодолеть силу притяжения Марса.

Но такой же механизм должен действовать и на Луне. Если бы направления ударов метеоритов о поверхность были случайными, «лунных» метеоритов на Земле должно было бы быть в сотни раз больше, чем марсианских. На самом же деле SNC-метеоритов найдено в несколько раз больше, чем «лунных». Это объясняется тем, что Марс подвергся бомбардировке метеоритами, многие из которых падали под небольшим углом к поверхности.

По-видимому, считает Стрикленд, прежде вокруг Марса был пояс метеоритов, траектории которых располагались почти в одной плоскости. Эти метеориты и бомбардировали Марс, падая под малыми углами к поверхности и выбивая фрагменты поверхностных пород. Но тогда и на спутники Марса — Фобос и Деймос — попало много таких осколков с Марса. Следовательно, советская автоматическая станция, которая будет запущена в 1988 г. по проекту «Фобос», сможет их зарегистрировать. Сканируя поверхность Фобоса с высоты 50 м с помощью лазерного масс-спектрометра и масс-спектрометра вторичных ионов, советские исследователи смогут обнаружить куски марсианской породы — ведь состав пород Фобоса, как предполагают, близок

¹ Подробнее об этом см. в этом номере: Новиков И. Д. Как взорвалась Вселенная. С. 82.

составу вещества углистых хондритов. Это и будет доказательством марсианского происхождения SNC-метеоритов.

Lunar and Planetary Science Conference XVIII. 1987. Part 3. P. 962—963 (США).

Физика

Ускорение частиц с помощью лазера

Для ускорения частиц до энергий в несколько ТэВ требуются ускорители все большего размера. В связи с этим специалисты обратились к лазерам. Так, с их помощью можно получить колоссальную напряженность электрического поля (10^{11} В/см и более), в то время как в классических методах ускорения частиц она не превышает 10^5 В/см. Предложено несколько методов лазерного ускорения электронов.

1. Пикосекундные импульсы лазера на неодимовом стекле направляются на фотокатод Герлиха и порождают интенсивные электронные облака. Эти облака ускоряются, причем ускоряющее поле синхронизовано с частотой образования электронных сгустков. Предполагается, что в перспективе мощность такого пучка в импульсе будет достигать примерно 1 ГВт. В Станфорде предполагают построить электронный ускоритель этого типа на энергию 300 ГэВ длиной в 300 м, параллельно и в сочетании с действующим линейным 4-километровым ускорителем обычного типа.

2. Используется лазер на свободных электронах с периодическим в пространстве магнитным полем. Можно выбрать такие условия, что при взаимодействии электронного и лазерного пучков в магнитном поле энергия лазерного пучка будет увеличивать энергию электронов. Однако установлено, что прирост энергии ограничен значением 100 МэВ/м. Кроме того, полная энергия не может превышать 100 ГэВ из-за синхротронного излучения, испускаемого электронами. Метод не пригоден для электронных уско-

рителей на энергию порядка ТэВ.

3. Пучок CO_2 -лазера проводится через полый цилиндр с точной периодической структурой (например, резьбой) на внутренних стенках. Рядом с лазерным пропускается пучок электронов. Если выполнено условие резонанса, происходит ускорение электронов за счет энергии лазера. По сравнению с предыдущим этот метод имеет то преимущество, что отсутствует ограничение на энергию ускорения из-за синхротронного излучения электронов.

4. Ускоритель «лазер — плазма» работает на принципе волны биения, разработанном сравнительно широко в последние годы. Электроны плазмы освещаются двумя лазерными пучками с разными частотами излучения. В результате интерференции образуются волны биений. Когда частота биений совпадает с собственной частотой колебаний электронов, происходит ускорение электронов за счет энергии лазерного излучения. Трудности метода состоят в мешающей релятивистской самофокусировке электронного пучка. Кроме того, неясно, как долго может сохраняться неизменным радиус электронного пучка, ускоряющегося в поле биений. (Было показано, что электронный луч распадается уже при энергии 40 МэВ.) Еще одна проблема — вопрос о КПД переноса энергии волнами биений к электронам.

5. Разрабатывается ускоритель с лазерным фокусом. При формировании узкого лазерного фокуса возникают очень высокие величины напряженности электрического поля, что открывает большие перспективы для создания ускорителей электронов на энергию порядка ТэВ. Вопреки принятому ранее предположению о том, что плазма почти нейтральна и, как металл, не должна иметь внутри электрических полей, исследования нелинейного взаимодействия лазерного излучения с плазмой показали, что в плазме всегда могут иметься динамические электрические поля из-за градиентов температуры или плотности.

Atomkernenergie — Kerntechnik. 1986. B. 48. № 3. S. 185—189 (ФРГ).

Физика

Подтверждена термодинамическая теория плавления!

Экспериментальные данные о влиянии давления на температуру плавления кристаллов KCl можно рассматривать как надежное свидетельство в пользу термодинамической теории плавления. Это доказано недавно в теоретической работе М. Росс и Дж. Вульфа (М. Ross; Ливерморская национальная лаборатория им. Лоуренса; J. Wolf; Калифорнийский университет, Беркли, США).

Чтобы понять значение полученного результата, следует учесть, что в настоящее время отсутствует единая теория плавления кристаллов. С одной стороны, считается, что плавление наступает, когда термодинамические потенциалы Гиббса кристаллической и жидкой фаз становятся одинаковыми. Недостаток основанных на этом термодинамических моделей плавления состоит в том, что рассчитать потенциалы Гиббса чрезвычайно трудно. С другой стороны, существует целый ряд однофазных теорий, в которых плавление связывают с потерей устойчивости кристаллической решетки, а свойства жидкой фазы никак не учитываются. Это противоречит термодинамическому подходу, но, как ни удивительно, огромное число экспериментальных данных согласуется с некоторыми из этих теорий.

Росс и Вульф проанализировали ситуацию применительно к плавлению KCl. Расчет стабильности кристаллической решетки KCl проводился двумя методами — методом Монте-Карло и методом динамики решетки в гармоническом приближении. В обоих случаях обнаружена потеря устойчивости решетки при некоторой температуре $T_{пл}$, зависящей от давления p , что (в духе упомянутых критериев) можно было бы интерпретировать как плавление. Однако зависимость $T_{пл}(p)$ оказалась довольно крутой и притом строго линейной. Экспериментальная же зависимость

$T_{пл}(p)$, полученная ранее, более пологая и с повышением давления стремится к максимуму.

Для выяснения причин этой расхожимости авторы рассчитали методом Монте-Карло парные функции распределения атомов в жидкости вблизи экспериментальной кривой $T_{пл}(p)$. Расчет показал, что с повышением давления структура жидкости качественно меняется. Если при низких давлениях каждый ион имеет 4—5 соседей, преимущественно противоположного знака, то при высоких давлениях это число доходит до 12, а ближайшая координационная сфера становится электрически нейтральной. С термодинамических позиций это должно приводить как раз к такому поведению $T_{пл}$ от p , которое наблюдается экспериментально.

Теории, связывающие плавление с потерей устойчивости кристаллом, не в состоянии объяснить особенности плавления KCl при высоких давлениях. В то же время эти особенности находят естественное объяснение в рамках термодинамического подхода, учитывающего влияние свойств жидкой фазы на характер плавления. Очевидно, это относится не только к KCl, но и ко многим другим ионным кристаллам, для которых характерно такое же поведение. Достаточно упомянуть, что в KCl на кривой $T_{пл}(p)$ наблюдается четкий максимум.

Physical Review Letters. 1986. Vol. 57. № 2. P. 214—217 (США).

Физика

Изотопные аномалии, полученные в лаборатории

До последних лет господствовало представление о том, что изотопный состав химических элементов изменяется по очень простому закону: обогащение одного изотопа относительно другого пропорционально разности их массовых чисел или корню квадратному из отношения этих чисел. Главное —

зависимость должна быть, как долго казалось, плавной, монотонной.

Поэтому обнаружение в метеоритах-хондритах обогащения кислорода единственным изотопом — ^{16}O — была сенсацией в изотопной геохимии. Сначала решили, что причина такого избытка — образование этого изотопа в каких-то ядерных процессах. Но дальнейшие исследования метеоритов привели к выводу, что подобный избыток вероятнее всего возник при фотохимических процессах в протопланетном газовом облаке под действием излучения Солнца. Удалось даже смоделировать такой процесс в лабораторных условиях...

Тем самым представление о том, что изотопное фракционирование (разделение) непременно плавно зависит от массового числа, было опровергнуто. Однако долгое время кислород оставался уникальным элементом — ни у какого другого химического элемента не удавалось ни в природных объектах, ни в лаборатории установить что-либо подобное.

Но затем нечто похожее обнаружили еще у одного химического элемента — магния. В некоторых высокотемпературных включениях в углистых хондритах магний оказался на 2—3% обогащен изотопом ^{26}Mg , а содержание двух других его изотопов — ^{24}Mg и ^{25}Mg — оставалось обычным. Изотопная аномалия магния в этих метеоритах до сих пор объяснялась тем, что ^{26}Mg образовался из «вымершего» радиоактивного изотопа ^{26}Al , возникшего в момент ядерного синтеза вещества Солнечной системы и быстро распавшегося из-за очень короткого времени жизни.

Недавно сотрудники Национального университета в Канберре (Австралия) нашли аномальное обогащение единственным изотопом магния в земной породе — экологите. Исследовались кристаллы пироксена этой породы массой до 50 мг; их поместили в графитовый тигель и нагрели до 2150 °C в высоком вакууме. Образцы сначала расплавились, часть вещества испарялась, а затем конденсировалась в тефлоновые

диски, помещенные над тиглем. Невоспаренные остатки и конденсаты растворяли в плавиковой и азотной кислотах, и в капельках полученных растворов с помощью прецизионного масс-спектрометра определяли изотопный состав магния.

Вначале был зарегистрирован изотопный сдвиг, не вызвавший особого удивления: закономерное отклонение изотопной распространенности ^{25}Mg и ^{26}Mg относительно ^{24}Mg . Обычно это связано с тривиальным разделением всех изотопов магния при испарении образцов: легкие изотопы испаряются интенсивнее, чем тяжелые. Но затем обнаружилось, что в некоторых невоспаренных остатках пироксена содержание ^{26}Mg слишком велико по сравнению с ^{25}Mg и ^{24}Mg .

Избыток ^{26}Mg , обнаруженный при лабораторном испарении земного высокотемпературного минерала — пироксена, заставляет усомниться: действительно ли причиной метеоритной аномалии ^{26}Mg были ядерные процессы? Не связана ли она с каким-то непонятным пока процессом изотопного масс-фракционирования? Ответы на эти вопросы пока не найдены.

Nature. 1986. Vol. 319. P. 576—578 (Великобритания).

Техника

Алюминий — вместо бензина?

В 1985 г. появились первые коммерческие батареи на алюминии. Они представляют собой элемент со щелочным или кислотным электролитом, в котором анодом является алюминий. (Надо отметить, что первые патенты на такие элементы были оформлены еще в 1880 г. Однако тогда на возможность широкого использования алюминиевых батарей в качестве источников энергии не обратили внимания, поскольку чистый алюминий стоил очень дорого, около 10 долл. за 1 кг.)

Сейчас в мире произво-

дится 13 млн т алюминия в год, причем его производство заметно снизилось после периода интенсивного развития (1943—1973). Стоимость также упала с 1600 долл. за тонну в 1983 г. до 800 долл. за тонну в 1986 г.

В связи с этим фирмы — производители алюминия, в частности канадская фирма «Alcan International», выступили инициаторами создания топливных батарей на алюминии. Подобные батареи уже запатентованы в США, Японии, Югославии, Норвегии, Австрии, Канаде, Франции, ФРГ. Исследования в этой области проведены также в СССР.

Плотность тока, вырабатываемого новым элементом, составляет 1 А/см². Она значительно превосходит плотности тока обычных аккумуляторов. Так, в серебряно-цинковых аккумуляторах эта величина не превышает 0,1—0,2 А/см², а в свинцовых — примерно в 5 раз меньше.

В Канаде прошел испытание автомобиль для игры в гольф с топливной алюминиевой батареей (чистота алюминия — 99,99 %, размер пластины 1×200×425 см, электролит кислотный). Мощность элемента 500 Вт, на производство 1 кВт·ч энергии требуется 1 л электролита.

Исследуются также батареи со щелочным электролитом NaOH; в них применяют алюминий, имеющий чистоту 99,85 %. Автомобили с таким элементом и выпускает фирма «Alcan International». Дозаправка электролитом производится каждые 400 км пробега, а алюминий заменяется через 2000 км; отработанный металл может быть затем восстановлен.

Канадская фирма разработала сплав, который является коррозионно-устойчивым и позволяет получить 4,2 кВт·ч энергии на 1 кг чистой гидроксида натрия. (В серебряно-цинковых аккумуляторах, обладающих наибольшей энергоемкостью среди промышленных образцов, этот показатель значительно ниже, около 0,1 кВт·ч/кг.) Однако в процессе работы на поверхности алюминия образуется прочная пленка оксида, которая препят-

ствует переносу ионов алюминия к электролиту. В результате падает напряжение элемента. Но если алюминий сплавлять с небольшими добавками галлия, олова или индия, то падение напряжения уменьшается. Поэтому лучшие образцы промышленных анодов содержат 0,04 % галлия.

Топливные элементы на основе алюминия смогут найти широкое применение для аварийного производства энергии, обеспечения энергией кемпингов, портативных электростанций, автомобилей. Но следует учесть, что если 1 % всех автомобилей США перевести на алюминиевые батареи, потребуется 600 000 т алюминия в год, для чего производство алюминия необходимо увеличить.

New Scientist, 1986. Vol. 111. № 1517.
Р. 34—37 (Великобритания).

Генетика

Вакцина против шистосомоза

Исследователи из Института Пастера в Париже во главе с А. Капроном (А. Capron) добились значительного успеха в получении вакцины против шистосомоза, широко распространенного хронического заболевания, вызываемого паразитарным червем шистосомой. Иммунитет против этой болезни вырабатывается слабо, и эффективная вакцина очень нужна, поскольку около 250 млн человек в Азии, Африке и Латинской Америке страдают от шистосомоза.

Группа А. Капрона, используя методы генной инженерии, смогла выделить из генома червя отрезок ДНК, который при введении в клетки кишечной палочки приводил к синтезу особого белка с молекулярной массой 28 000 Д. Введение этого белка крысам или хомякам вызывало сильный иммунный ответ, в ходе которого образовывались антитела, способные уничтожать личинки червей. Вакцинация бабуинов дала также положительный эффект, что по-

зволяет рассчитывать на успешное применение полученного белка для предупреждения шистосомоза у людей. Важно отметить, что этот белок встречается по крайней мере у трех разных видов шистосом, инфицирующих людей, а также у одного вида червей, поражающего крупный рогатый скот. Поэтому использование вакцины из рекомбинантного белка кажется вполне оправданным. Возможно, наиболее эффективной будет вакцина, состоящая из нескольких разных белков шистосом, которые вместе смогут вызвать максимальный иммунный ответ организма.

Nature, 1987. Vol. 326. № 6109.
Р. 131, 149—153 (Великобритания).

Генетика

Как нарушается нормальное соотношение полов у ос-наездников?

При создании паразитических форм процесс эволюции достигает особенной изобретательности. Один из примеров — обнаружение у ос-наездников *Nasonia vitripennis* наследуемого фактора *psr* (его природа до сих пор не установлена), нарушающего нормальное соотношение полов.

Эти мелкие насекомые откладывают яйца в личинки мух. Механизм регулирования пола у них чрезвычайно прост: из оплодотворенных яиц вылупляются самки, из неоплодотворенных — самцы (примерно в равном количестве). Но при скрещивании с нормальными самками некоторых самцов, выловленных в природных популяциях, в потомстве обнаруживаются только самцы, потомство значительной части которых, в свою очередь, представлено исключительно самцами. Таким образом, по наследству от самца к самцу передается некий фактор, обозначенный *psr*, сдвигающий соотношение полов в сторону образования самцов.

Это весьма загадочно — ведь самцы появляются из неоплодотворенных яиц. Как же наследуемый фактор передает-

ся от самца-родителя к самцам-потомкам? Цитологические эксперименты, проведенные недавно исследователями из Рочестерского университета (штат Нью-Йорк, США) показали, что при скрещивании самцов, несущих *rsr*, с нормальными самками происходит оплодотворение значительной части яиц. В таких яйцах присутствуют как материнский, так и отцовский наборы хромосом, и, в принципе, из них должны были бы развиться особи женского пола. Однако в самом начале развития в митозе один из наборов хромосом теряется и из таких яиц впоследствии формируются самцы. Генетический анализ показал, что теряется отцовский набор хромосом. Следовательно, фактор *rsr* передается потомству внехромосомным путем, по-видимому, через цитоплазму сперматозоида. Вследствие этого ему, естественно, «выгодно», чтобы зараженные им осы становились самцами, чего он и достигает, уничтожая неизвестных пока способом один из хромосомных наборов.

Nature. 1987. Vol. 327. P. 75—76 (Великобритания).

Иммунология

Поиски геропротекторов

Среди теорий старения в настоящее время выделяется иммунологическая, в соответствии с которой с возрастом развиваются нарушения иммунной системы, происходит снижение сопротивляемости к инфекциям, что вызывает аутоиммунные заболевания и рак. В связи с этим внимание исследователей привлекают вещества, способные тормозить возрастное снижение иммунитета, к которым относятся полипептиды, выделенные из костного мозга, тимуса и других органов и тканей животных.

В. Н. Анисимов, В. Г. Морозов и В. Х. Хавинсон (Научно-исследовательский институт онкологии им. Н. Н. Петрова, Ленинград) изучали действие факторов полипептидной

природы, выделенных из тимуса, эпифиза, костного мозга и кровеносных сосудов крупного рогатого скота, на продолжительность жизни и развитие спонтанных новообразований у мышей. Наибольший эффект оказывали препараты эпифиза и тимуса, которые увеличивали продолжительность жизни мышей на 29 и 26 % и уменьшали частоту новообразований в 1,5 и 1,6 раз соответственно. Поскольку ранее было показано, что препарат эпифиза стимулирует иммунитет, авторы заключили, что его воздействие нормализует ряд метаболических и гормональных нарушений, развивающихся при старении и способствующих росту опухолей.

Доклады АН СССР. 1987. Т. 293. № 4. С. 1000—1004.

Иммунология

О механизме происхождения диабета

Возникновение сахарного диабета связывают с аутоиммунными процессами, направленными против образующих инсулин β -клеток поджелудочной железы. Суть таких процессов заключается в том, что иммунная система начинает бороться с собственными тканями и клетками, когда они изменяют свою структуру и становятся для иммунной системы чужими. На поверхности β -клеток имеются углеводсодержащие белки (гликопротеины) так называемого HLA II класса, которые играют важную роль в запуске иммунного ответа организма. Обычно они хорошо замаскированы, и иммунная система их не замечает. Но достаточно им «размаскироваться», как клетки, на поверхности которых они появляются, становятся объектом атак иммунной системы.

Ж. Ф. Ботаззо с сотрудниками (G. F. Botazzo; Мидлсексский госпиталь, Великобритания) при исследовании β -клеток поджелудочной железы детей, больных сахарным диабетом, обнаружили на поверхности этих клеток гликопротеины. Это

имело место при длительно протекающих вирусных инфекциях, затрагивающих и клетки поджелудочной железы. Борясь с инфекцией, некоторые из этих клеток выделяют специфические белки — цитокины, способствующие защите самих клеток от инфекций.

Р. Пуйол-Боррел (R. Pujol-Borrel) с коллегами из того же госпиталя нашли, что комбинация так называемого фактора некроза опухолей и γ -интерферона заставляет β -клетки демаскировать молекулы данных гликопротеинов на их поверхности в опытах *in vitro*. Такой же эффект вместе с γ -интерфероном может вызвать и лимфотоксин. Исследователи полагают, что подобные явления имеют место у больных, страдающих хроническими вирусными инфекционными заболеваниями и генетически предрасположенных к диабету. Поэтому в будущем при лечении диабета нужно стараться сосредоточить внимание на том, чтобы уберечь β -клетки от присутствия на их поверхности гликопротеинов HLA II класса.

Nature. 1987. Vol. 326. № 6110. P. 304—306 (Великобритания).

Иммунология

Интерлейкин-2 стимулирует моноциты

Все большее внимание исследователей уделяется открытому недавно гормону иммунной системы — интерлейкину-2. Ранее американские онкологи, возглавляемые С. Розенбергом, установили, что под действием интерлейкина-2 Т-лимфоциты, главные клетки иммунной системы, становятся цитотоксичными, т. е. способными убивать многие типы опухолевых клеток. Теперь же группа английских иммунологов во главе с У. Файсом (W. Fieas; Клинический центр в Харроу) обнаружила, что интерлейкин-2 усиливает цитотоксичность других иммунных клеток — моноцитов.

Моноциты составляют лишь небольшую часть клеток

крови, однако они во многом определяют так называемую неспецифическую резистентность организма, например его способность сопротивляться зарождению опухолей.

Способность убивать клетки у нестимулированных моноцитов очень невелика. Однако после 24 ч инкубации с рекомбинантным человеческим интерлейкином-2 их цитотоксичность возрастает почти в 10 раз. Тщательная очистка популяции моноцитов от возможных примесей других клеток крови доказала, что гормон стимулировал именно моноциты, а не Т-лимфоциты или естественные киллеры (еще одну разновидность цитотоксических клеток).

Хотя эксперименты проводились с одной лишь линией опухолевых клеток, они убедительно демонстрируют взаимосвязанность всех важнейших элементов иммунной системы организма, проявляющуюся, в частности, в защите против опухолей.

Nature. 1987. Vol. 325. № 6101. P. 262—265 (Великобритания).

Онкология

Курение и рак легких

Известно, что чувствительность людей к табачному дыму весьма индивидуальна и курильщик не обязательно заболевает раком легких. Эти индивидуальные различия связывают с неодинаковой способностью организма превращать так называемые проканцерогены, содержащиеся в табачном дыме (например, бензпирен), в истинные канцерогены.

И. К. Су с сотрудниками (J. C. Hsu; Мэрилендский университет, Балтимор, США) обнаружили, что отдельные люди, так же как и биологические виды, различаются активностью ферментов, катализирующих превращение проканцерогенов в канцерогены. Авторы исследовали несколько проканцерогенов: афлатоксин В₁, бензпирен и N-нитрозодиметиламин. Их инкубировали с альвеолярными

макрофагами легких, клетками печени (гепатоцитами) людей, крыс или мышей. Под влиянием ферментов, содержащихся в макрофагах и гепатоцитах, проканцерогены превращались в активные канцерогены. О степени интенсивности этого процесса судили по частоте генных мутаций стандартных клеток линии V 79 китайского хомячка и по повреждениям молекул ДНК в гепатоцитах. Частота мутаций зависела не только от концентрации канцерогенов, но и от особенностей организма: числа трансформирующих проканцерогенов клеток и их специфик. Например, у крыс гепатоциты активировали афлатоксин В₁ эффективнее, чем у мышей и человека. Обнаружены и значительные индивидуальные различия в способности альвеолярных макрофагов людей вырабатывать активные мутагены из бензпирена.

Mutation Research. 1987. Vol. 177. № 1. P. 1—7 (Нидерланды).

Медицина

Антитела обнаруживают опухоль

Исследователи из швейцарских научных центров, возглавляемые Ж.-П. Маком (J.-P. Mach), добились значительного успеха в локализации опухолей и их метастазов с помощью моноклональных антител к одному из опухолевых белков — карцино-эмбриональному антигену.

Антитела метили короткоживущим изотопом ¹²³I и вводили в организм больного животного. Локализацию антител, присоединяющихся к опухолевым клеткам, устанавливали методом эмиссионной гамма-томографии, который позволяет послойно изучать органы и ткани. В результате авторы получали картину расположения опухоли в трехмерном пространстве.

Наилучшие результаты были получены при использовании не цельных молекул антител, а определенных их фрагментов, которые занимают все-

го треть объема молекулы, но сохраняют способность соединяться с антигеном. Из-за меньших размеров эти фрагменты быстрее проникают сквозь здоровые ткани и в то же время меньше поглощаются ими, чем цельные молекулы. В экспериментах на мышах удавалось обнаружить опухоль массой 0,1 г уже через два дня после введения антител.

В клинических испытаниях у 27 больных с раком прямой кишки эффективность нового метода локализации опухоли и метастазов в печени достигла 89 %. Метод позволит, кроме того, следить за появлением метастазов после удаления основной опухоли.

The Journal of Clinical Investigation. 1986. Vol. 77. № 1. P. 301—311 (США).

Биология

Число видов живых организмов на Земле

Общее число видов растений и животных, обитающих в настоящее время на Земле, оценивается обычно в 3—5 млн, причем подавляющее их большинство — тропические насекомые. Основываются такие оценки на предположении, что число видов насекомых, живущих в тропиках и в большинстве своем остающихся все еще неизвестными науке, в 2—3 раза выше, чем в умеренной зоне, фауна которой, гораздо лучше изученная, насчитывает около 1 млн вида насекомых.

Хотя ежегодно описывается в среднем 1 вид млекопитающих и 3 вида птиц, все согласны, что видовой состав этих групп животных в основном известен. Поскольку число тропических видов в этих группах в 2—3 раза превосходит число видов, обитающих в умеренной зоне, по аналогии предполагали, что такое же соотношение верно для класса насекомых. Однако, по мнению Р. Мэя из Принстонского университета (Нью-Джерси, США), в приведенную схему расчетов следует внести коррективы, ко-

которые почти на порядок увеличат число видов организмов, существующих на Земле¹. Поводом для пересмотра принятых оценок послужили опубликованные ранее данные Т. Эрвина². Используя инсектицидный аэрозоль, он попытался «выгнать» из кроны тропического дерева всех обитающих там насекомых и провести их полный учет. За три сезона работы в Панаме Эрвин подобным образом обследовал 19 экземпляров тропических вечнозеленых деревьев *Luehea seemannii*. Учитывались при этом только жуки. На всех обследованных деревьях было обнаружено 1100 видов, из них более 600 — фитофаги (питаются растениями), около 300 — хищники, остальные — потребители грибов и разлагающихся остатков. Для оценки числа видов жуков, специфически связанных только с *L. seemannii*, Эрвин предположил, что их доля составляет 20 % для фитофагов, 5 % — для хищников, 10 % — для потребителей грибов и 5 % — для сапрофагов. Таким образом, примерное число видов жуков, специфически связанных с *L. seemannii*, оценивалось в 160. Приняв, что доля жуков от общего числа видов членистоногих, связанных с изученными деревьями, составляет 40 %, Эрвин получил оценку в 400 видов членистоногих, специфических только для одного вида деревьев. Далее Эрвин предположил, что число видов членистоногих, обитающих в кронах, примерно в 2 раза больше числа видов, держащихся у основания ствола и на поверхности почвы. Отсюда была получена величина в 600 видов членистоногих, специфически связанных с одним видом деревьев. Поскольку считается, что в тропиках около 50 тыс. видов деревьев, расчет общего числа видов членистоногих тропических лесов дает цифру 30 млн. Как отмечает Мэй, некоторые

величины, использованные Эрвином при расчетах, оценены очень приблизительно (в частности, неизвестно, составляют ли жуки 40 % от общего числа членистоногих тропического леса), однако в целом использованный им подход гораздо более обоснован, чем тот, что давал оценку в 3—5 млн.

Собственные данные Мэй по зависимости числа видов животных от их характерного размера также свидетельствуют в пользу предположения о значительно большем, чем считалось ранее, числе обитающих на Земле видов. Вопрос о числе видов различных микроорганизмов (особенно видоспецифических паразитов) и возможности включения их в аналогичные схемы расчета остается пока открытым.

А. М. Гиляров,
доктор биологических наук
Москва

Биология

Рассудочная деятельность дельфинов

Дельфины, как известно, обладают достаточно высокоорганизованным мозгом, однако единого мнения об уровне их интеллекта до сих пор не существует.

Одним из проявлений элементарной рассудочной деятельности животных является их способность улавливать закономерности и экстраполировать направление движущихся и скрывающихся за перегородкой объектов. До сих пор лучшие результаты подобной экстраполяции были получены в экспериментах с наземными млекопитающими (волками, лисами, собаками)¹.

Л. В. Крушинский, Д. А. Фалес и Ю. Д. Стародубцев (Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова)

изучали реакцию экстраполяции у четырех взрослых черноморских дельфинов — афалин: двух самок — Розы и Сигмы и двух самцов — Румба и Кадра. Если Роза и Сигма ранее уже участвовали в подобных экспериментах, то Румб и Кадр к началу опыта имели минимальную адаптацию к условиям неволи.

В отсеке, где содержался дельфин, устанавливалась звуко- и светонепроницаемая ширма длиной 6 м, высотой 2 м, на треть погруженная в воду и с окном шириной 0,8 м в середине. Окно и затор под ширмой до дна отсека были затянuty сетью. Дельфину, находившемуся на стартовой позиции напротив окна ширмы, показывали в окне живую рыбу или мяч, привязанные к поводку. Дельфин подплывал к окну и пытался схватить корм или мяч, который тут же начинал отодвигаться вдоль ширмы и исчезал из поля зрения животного. Одновременно в противоположную сторону отодвигался от окна поводок без приманки. Таким образом, дельфин, получив кратковременную (в течение 1—2 с) информацию о направлении движения зрительного раздражителя, должен был экстраполировать его последующий путь за ширмой и обойти ее с нужной стороны.

Раздражители предъявлялись многократно (под водой на глубине 0,2 м и на высоте 0,2 м над поверхностью воды) с интервалом от 0,5 мин до 5 мин за опыт; в день проводилось по два опыта. Направление движения раздражителя постоянно менялось. Дельфины во всех случаях успешно решали задачу на экстраполяции. При этом Роза сделала лишь 3 ошибки на 55 предъявлений, Сигма — 2 на 23 предъявления; Кадр совершил 9 ошибочных обходов на 112 предъявлений; Румб на 53 предъявления сделал 31 правый обход, 9 раз ошибся, а в остальных случаях после попыток схватить отодвигавшуюся рыбу оставался на стартовой позиции перед окном.

Задача решалась дельфинами на основе анализа и экстраполяции движения только зрительных раздражителей, хотя зрительный анализатор у дельфинов не является ведущим

¹ May R. M. // Nature. 1986. Vol. 324. P. 514—515.

² Erwin T. L. // Coleopterists Bull. 1982. Vol. 36. P. 74; Bull. Entomol. Soc. Amer. 1983. Vol. 2. P. 14.

¹ Подробнее см.: Крушинский Л. В. Биологические основы рассудочной деятельности. (Эволюционные и физиолого-генетические аспекты поведения.) М., 1986.

и зрительная информация сохраняется и перерабатывается ими хуже, чем слуховая.

Таким образом, дельфины проявили хорошую способность к улавливанию закономерностей, к запоминанию и к экстраполяции направления движения. Экстраполяция траектории движения, в свою очередь, характеризует важное для дельфинов свойство — ближнюю пространственную ориентацию.

Доклады АН СССР. 1987. Т. 293. № 5. С. 1269—1273.

Зоология

Разнообразие конечностей у краснопинной саламандры

Безлегочные саламандры из рода *Plethodon* известны постоянством морфологических структур; естественная изменчивость в строении их скелета проявляется лишь в очень незначительной степени. Но недавно обнаружено, что в отдельных популяциях краснопинной (или пепельной) саламандры (*P. cinctus*) строение конечностей чрезвычайно разнообразно. В основном изменчивость выражена в отделах, расположенных между пальцами и предплечьем или голенью (соответственно, в запястьи и предплюсне). Эти отделы у хвостатых земноводных состоят из многих элементов (костных или хрящевых). У краснопинной саламандры и число элементов, и их взаимное расположение, и характер соединения друг с другом различны у разных особей. Чем объяснить это явление? Казалось бы, наиболее очевидна его связь со способностью земноводных к регенерации. Известно, что тритон или саламандра, потерявшие, например, часть хвоста или лапу в схватке с хищником, быстро отрастают утраченные органы вновь. Регенерированные части нередко отличаются по строению от исходных.

Чтобы проверить, является ли наблюдаемое в природе разнообразие конечностей крас-

носпинной саламандры результатом регенерации, американские исследователи Ч. Динсмор и Дж. Хэнкен (С. Dinsmore, J. Hanken; Медицинский колледж в Чикаго) провели интересный эксперимент. Отловив 91 саламандру, они ампутировали у них в общей сложности 182 передних и 85 задних конечностей. Довольно быстро животные восстановили утрату, и экспериментаторы получили уникальную возможность сравнить особенности строения скелетов исходных и регенерированных лап у тех же особей. Оказалось, что существуют два типа строения запястья и предплюсны. Один формируется при нормальном развитии лапки у метаморфозирующих особей — личинок, живущих в воде; другой — при регенерации, происходящей уже у взрослых, сухопутных животных. Принципиальные различия между двумя типами объясняются тем, что силы, действующие на лапку в воде и на суше, совершенно различны, в связи с чем по-разному происходят развитие и соединение элементов скелета. Отмечаемые в природе варианты строения конечностей соответствуют именно «нормальному» типу и, следовательно, не могут быть объяснены регенерацией. Нужны новые гипотезы.

Journal of Morphology. 1986. Vol. 190. № 2. P. 191—200 (США).



Охрана природы

Остров Элсмир взят под охрану

Расположенный в Канадском Арктическом архипелаге, за 76° с. ш., о. Элсмир стал 32-м, самым молодым национальным парком Канады. Его площадь 213 тыс. км²; она в три раза превышает, например, территорию таких известных национальных парков США, как Йеллоустонский и Йосемитский, вместе взятых. На острове, не тронутом цивилизацией, сложились благоприятные условия для обитания

овцебыка, горностая, полярных волков; насчитывается до 30 видов птиц. Животные совершают интенсивные миграции. Постоянных жителей на Элсмире крайне мало, что снимает проблему организации строгого контроля за состоянием дикой природы острова.

Помимо сохранения природы и развития туризма преследовалась еще одна цель: объявляя о. Элсмир национальным парком, Канада официально устанавливает свой суверенитет над водами Северо-Западного прохода — северным морским путем между Атлантическим и Тихим океанами через моря и проливы Канадского Арктического архипелага.

National Parks. 1987. Vol. 61. № 1—2. P. 7 (США).

Экология

Утечка нефти в океан уменьшилась

Как отмечается в отчете американского Центра по исследованию кратковременных явлений, число случаев утечки нефти в Мировой океан и ее объем резко стали сокращаться начиная с 1984 г. После того как в 1983 г. количество попавшей в океан нефти достигло рекордного (за четыре года) уровня — 241 млн галлонов (1 галлон — 3,785 л), в 1984 г. потери нефти от утечек, пожаров в море и кораблекрушений снизились до 26 млн галлонов, а в 1985 г. — до 44 млн. Уменьшилось и число случаев утечки: в 1983 г. их было 205, в 1984 г. — 195, в 1985 г. — 152.

Причина, как полагают, кроется в том, что нефтяные компании начиная с 70-х годов стали соблюдать большую осторожность; кроме того, в связи с сокращением спроса на импортную нефть, уменьшилось и общее число кораблей, занятых на ее перевозке.

International Wildlife. 1987. March—April. P. 29. (США).

Ворона в городе

Происходит интересный процесс заселения городов серой вороной. В городских популяциях у нее выработались специфические особенности: более раннее в течение сезона размножение, увеличение числа яиц в кладках, подстраивание ритма активности птиц к ритму жизни города, резкое увеличение плотности популяции — до 32—36 пар на 1 км², в то время как в слабо измененных ландшафтах встречается лишь 2—3 пары на 1 км² (ближе вороны в норме не терпят друг друга)¹. Каковы отношения между воронами в городских популяциях?

В. И. Грабовский (Институт эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова АН СССР) в течение пяти лет наблюдал за жизнью серых ворон, индивидуально пометив всех птиц на изучавшейся территории площадью 3,06 км². Их плотность была близка к максимальной известной: в 1979 г. зарегистрировано 107 гнезд на 3 км². Дистанция между гнездящимися парами сократилась до нескольких десятков метров, и свободных перспективных гнездовых участков вблизи характерных для города постоянных мест кормежки уже не оставалось. Это привело к изменению образа жизни ворон.

За период с 1976 по 1980 г. не отмечено ни одной попытки гнездования у особей, достигших 2—3-летнего возраста, хотя в норме вороны размножаются уже на второй год. Зато существенно продлилась связь молодняка с родителями. После периода гнездования (июнь — июль) у ворон наступает период кочевок (август — октябрь), который должен был бы приводить к расселению. Действительно, в это время наблюдалась повышенная подвижность молодых

птиц, причем у сеголеток (вылупившихся этим летом) она была выше, чем у первогодков (вылупившихся прошлым летом). Но поскольку расселяться было некуда, 67 % птенцов этого и 60 % птенцов прошлого года вновь возвращались на участки родителей. Еще примерно по 20 % птенцов из той и другой возрастных групп постоянно встречались на участке какой-нибудь соседней пары.

Описанные явления стали возможны благодаря выработавшейся значительной терпимости старых птиц к остающимся на их территории своим и вторгающимся чужим молодым особям. Не все здесь проходит гладко: на гнездовых участках находили мертвых первогодков — всегда неродственных хозяевам участка; их смерть, как показало вскрытие, вполне могла наступить от ударов клюва и когтей. Вполне вероятно, что и через год вороны способны различать своих и чужих птенцов.

Зоологический журнал. 1986. Т. 65.
№ 4. С. 571—578.



Геология. Экология

Золото и ртуть Амазонки

В конце 70-х годов на левобережье нижнего течения Амазонки, главным образом на территории бразильского штата Пара, были открыты месторождения золота. Это вызвало невиданный в истории страны приток людей из наиболее отсталых областей в лесные, не затронутые до того человеческой деятельностью районы Бразилии. К 1985 г. насчитывалось не менее 400 тыс. старателей, в 1986 г. их число, очевидно, превысило полмиллиона.

В 1980 г. богатое месторождение было обнаружено на возвышенности Серра-Пелада (юго-восток штата Пара). За четыре года здесь было добыто 33,28 т золота. Все работы велись вручную. К настоящему времени возвышенности не существует: на ее месте возник

котлован глубиной 110 и диаметром 1200 м. Поскольку дно котлована достигло уровня грунтовых вод, а стенки угрожают обвалом, работы пришлось прервать до прибытия специального оборудования (перспективность дальнейших работ доказывает тот факт, что применение насосов, установленных на лодках, позволило добыть со дна Мадейры, крупного притока Амазонки, с глубины от 15 до 30 м, около 9,6 т золота).

В районах бразильской Амазонки, ставших центром золотой лихорадки, отмечается массовое загрязнение природной среды, рост заболеваемости и смертности. Особое внимание экологов, биологов и врачей привлекают многочисленные случаи отравления ртутью. Примитивная ручная промывка золотого песка и гравия производится с использованием ртути, при этом оптимальное ее количество — около 2 кг на 1 кг добытого золота, однако малоопытные старатели нередко расходуют до 10 кг ртути на 1 кг золота. В ходе промывки около 2/3 используемой ртути оказывается в реке. Согласно официальным сведениям Института золота Бразилии, в 1984 г. в стране было добыто 55 т золота; можно представить, сколько тонн ртути поступило за год в бассейн Амазонки.

Никаких законов, ограничивающих применение ртути, в Бразилии не существует. По оценкам, ртутному отравлению в той или иной степени ежегодно подвергаются тысячи людей. Так, индейцы племени каяпо из селения Горотирио после массового появления характерных рвотных симптомов перестали потреблять рыбу и даже пить воду из р. Фреско, на которой возник прииск. Хотя старатели и рабочие приисков редко едят рыбу, но и у них участились случаи отравления. Не подозревая об опасности, неграмотные старатели невольно вдыхают пары ртути, возникающие в процессе амальгамации, когда ртуть смешивают с осадками, содержащими частицы золота, и затем сжигают.

¹ См.: Урбанизация ворон // Природа. 1983. № 12. С. 112.

Геология

113-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн»

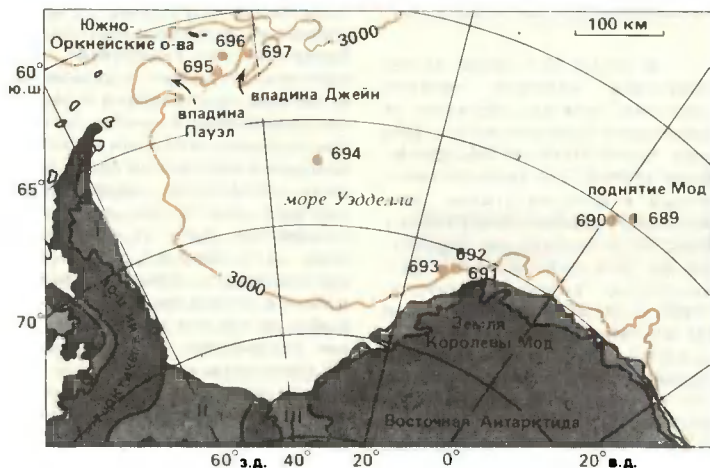
В соответствии с Программой океанского бурения 113-й рейс проводился в январе — марте 1987 г. в море Узделла у берегов Антарктиды. Этот рейс был первым из запланированных четырех, в котором ученые предполагали получить новые данные о тектоническом развитии региона, сыгравшем решающую роль в становлении глобального климата и океанской циркуляции; выяснив, когда и как Антарктида отделилась от более крупного материка и заняла свое настоящее положение, можно определить и время образования Циркумполярного течения. Результаты этого рейса, а также 114-го — в Южной Атлантике и двух последующих — на плато Кергелен в Индийском океане помогут составить полную картину развития оледенения и климата Антарктики.

На дне моря Узделла было пробурено девять скважин (689—697), причем две — всего в 60 милях от побережья. Вскрытые скважинами разрезы вклю-

чают биогенные глубоководные отложения открытого моря на поднятии Мод (скважины 689, 690), смешанные биогенно-терригенные (менее глубоководные) и терригенные на континентальной окраине Восточной и Западной Антарктиды (скважины 691—693, 695—697). В скважине 694 обнаружены осадки мутьевых потоков и глубоководные отложения абиссальной равнины Узделла.

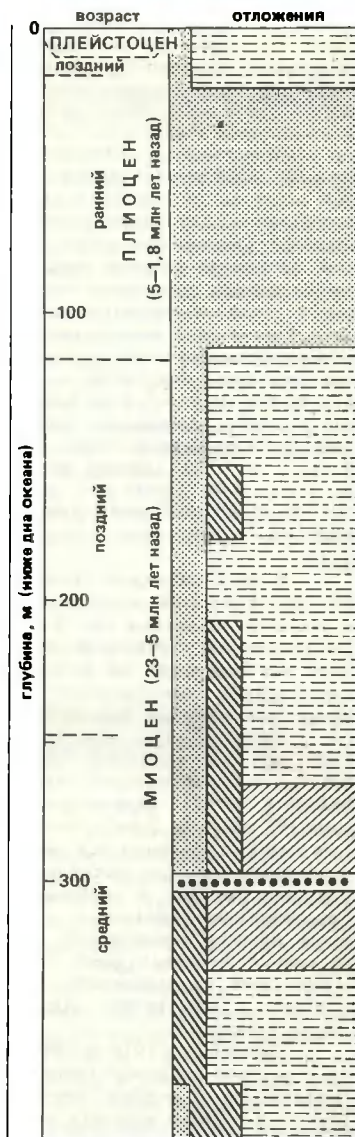
Установлено, что Антарктида и Австралия откололись от Гондваны около 150 млн лет назад и переместились к югу. Последующие события — отделение Австралии от Антарктиды около 50 млн лет назад, а затем, около 25—20 млн лет назад, раскрытие пролива Дрейка, разделяющего Южную Америку и Антарктиду, привели к тому, что Антарктида оказалась изолированной и окруженной Циркумполярным течением, самым большим на земном шаре.

В конце мезозоя (в раннем — начале позднего мела) накопление осадков в этом регионе происходило в бескислородных или слабо окислительных условиях. Начиная с кампана (около 80 млн лет назад) стали преобладать глубоководные биогенные карбонатные отложения, которые в кайнозое сменяются кремнистыми. Начало



Район бурения скважин в 113-м рейсе (кружки с цифрами — скважины данного рейса; цифры на изолиниях —

глубина океана, м; римскими цифрами обозначены шельфовые ледники: I — Ларсена, II — Ронне, III — Фильхнера).



Стратиграфический разрез скважины 694

- Диатомовый ил
- Алевроитово-пелитовый ил
- Алевроитово-глинистые отложения
- Песчано-алевритовые отложения
- Гравий

кремнистой седиментации приурочено к границе эоцена и олигоцена (около 37 млн лет назад), к позднему же миоцену (около 13 млн лет назад) этот тип седиментации становится преобладающим. Значит, относительно теплый климат в Антарктике резко изменился около 37 млн лет назад; заметное похолодание привело к обширному оледенению и сказалось на характере осадков и составе планктона.

Оледенение начало формироваться сначала в Восточной Антарктиде (в палеогене), а затем, спустя несколько миллионов лет (уже в неогене), — в Западной Антарктиде. После образования Восточно-Антарктического ледового щита существование его таяния не происходило. Становление ледового щита Западной Антарктиды началось лишь в позднем миоцене — об этом свидетельствуют данные скважины 694, указывающие на распространение переложных диатомовых водорослей и на изменение состава глинистых минералов. Судя по разноразмерности осадков в скважине 694, накапливавшихся с различной скоростью, формирование ледового щита Западной Антарктиды, Южно-Оркнейского микроконтинента и северной части Антарктического п-ова имело сложную историю, отличалось нестабильностью.

В начале раннего плиоцена (около 5 млн лет назад) ледовый щит Западной Антарктиды наконец стабилизировался и принял почти современные размеры. На это указывает прекращение турбидитной седиментации (отложения мутьевых потоков) в районе скважины 694. В последние 2,4 млн лет оледенение усиливалось границы шельфовых ледников расширялись, что, возможно, было связано с глобальным похолоданием. Этот рост ледового покрова в плейстоцене привел к резкому почти повсеместному сокращению сноса терригенного материала и уменьшению скорости накопления менее глубоководных осадков.

Вулканология

Действующий вулкан далеко за Полярным кругом

В северной части Атлантического океана, между Гренландией и Норвегией, расположен о. Ян-Майен (территория Норвегии). На северо-востоке острова, на широте 71°, находится вулкан Беренберг (2277 м). Первые наблюдения за его извержениями были проведены в 1732 г. Андерсоном и в 1818 г. — Скоресби-младшим. Затем, вплоть до 1970 г., какие-либо сведения об активности этого вулкана отсутствовали.

В сентябре 1970 г. произошло извержение Беренберга; через эруптивные трещины излились лавовые потоки по его северным склонам, а у северо-восточной оконечности острова образовалась лавовая терраса. К 1972 г. большая часть этого молодого лавового берега была разрушена волнами океана. В том же году наблюдалось выделение пара по периферии центрального кратера вулкана.

4—7 января 1985 г. отмечено новое проявление активности Беренберга. В эти дни на самом о. Ян-Майен и в Исландии были зарегистрированы землетрясения; с самолета наблюдались свежий лавовый поток и фонтан пепла высотой около 3000 м. Несколько дней спустя исландские геологи совершили облет вулкана, но время наблюдений было ограничено коротким световым периодом полярной ночи. Через два дня после полета вулканическая активность на острове прекратилась. В мае 1985 г. отмечались выходы пара из центрального кратера.

Извержения 1970 и 1985 гг. дают вулканологам основание считать Беренберг действующим вулканом. Можно полагать, что в прошлом из-за географической удаленности острова и его малой посещаемости, особенно в периоды полярной ночи, подобные проявления вулканизма оставались незамеченными.

Океанология

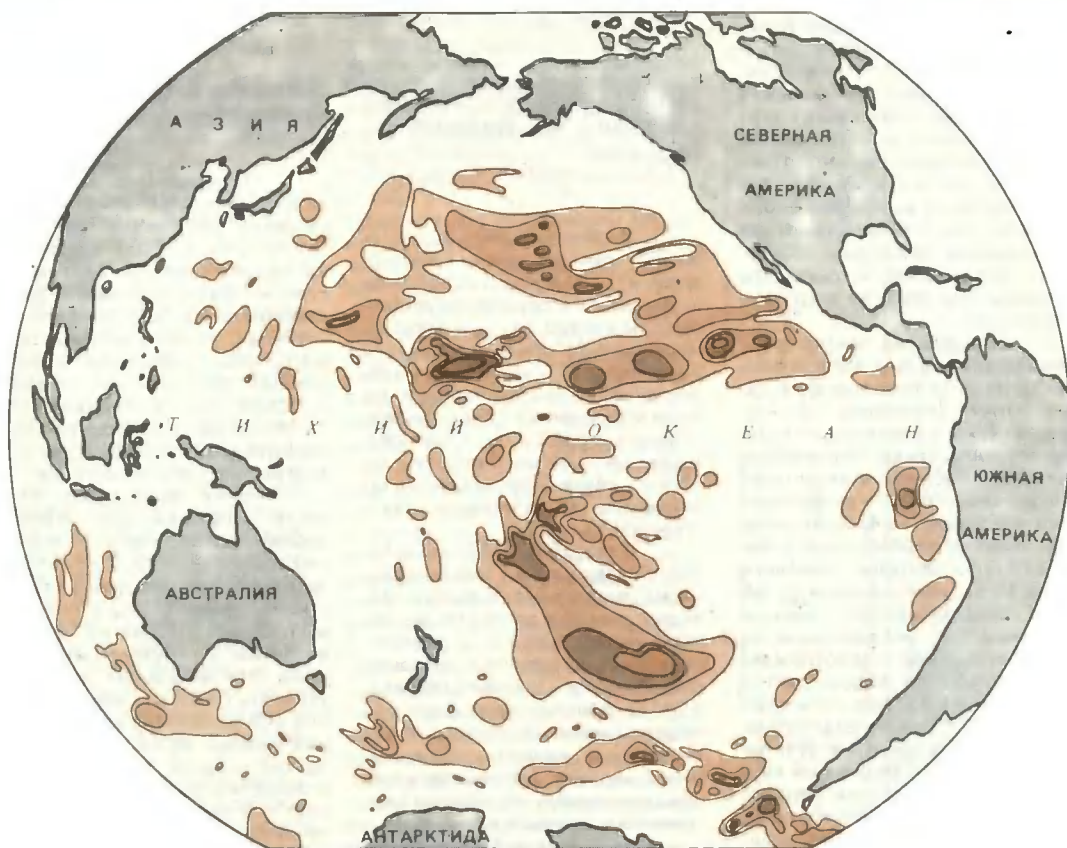
Железомарганцевые конкреции в Тихом океане

Опубликована новая карта распространения железомарганцевых конкреций (ЖМК) в Тихом океане¹. Она составлена на основе данных 2500 фото-станций, производивших фото-графирование дна на больших глубинах. Авторы использовали материалы, собранные специалистами ФРГ, Японии, Франции и США на протяжении их 25-летней деятельности в рамках Международного общества океанографических институтов.

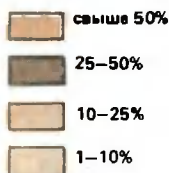
Карта показывает плотность покрытия дна ЖМК в процентах; выделено 5 различных градаций — от 0 до >50 %. Во многих случаях данные фотосъемки сравнивались с образцами осадков, поднятых дночерпателями и грунтовыми трубками. Это позволило не только уточнить границы распространения ЖМК, но и сделать интересные выводы об их связи с литологией осадков и скоростью их отложения, а в некоторых случаях и со скоростями придонных течений. В общих чертах эти сведения были известны и раньше, но их обобщение в масштабах всего океана выполнено впервые.

На карте выделяются несколько крупных площадей с повышенной плотностью ЖМК: 1 — известная рудная провинция между разломами Кларин и Клиппертон в северной приэкваториальной зоне океана, 2 — возвышенности Музыкантов в северо-восточной части, 3 — центральная часть Юго-Западного бассейна, 4 — Восточно-Западный пояс в зоне Антарктической конвергенции вдоль 60° ю. ш., 5 — небольшая площадь в северной части Перуанского бассейна.

Конкреции тяготеют к районам, где скорость накопления осадков менее 5 мм в тысячу лет. Наибольшая плот-



Плотность покрытия дна Тихого океана железомарганцевыми конкрециями (в процентах).



ность приурочена к красным глинам и кремнистым биогенным осадкам, лишь изредка — к карбонатным осадкам или к границам между различными осадками. Конкреции на карбонатных осадках формируются только при условии низких скоростей осадконакопления, что встречается редко.

Авторы указывают на целый ряд исключений, прояв-

ляющихся при детальных исследованиях небольших площадей, что в каждом конкретном случае требует идеи для интерпретации условий образования конкреций, однако достоверность таких предположений обычно связывается с необходимостью сбора дополнительных сведений.

Пока мало данных о придонном гидродинамическом режиме океана, но уже известные свидетельства о большом значении глубоководной циркуляции в Тихоокеанском бассейне, которая может влиять на состав и скорость накопления осадков, а следовательно, и определять специфику образования конкреций. Исследования в северной приэкваториальной зоне показали важную роль рельефа в распространении ЖМК: больше всего конкреций откладывается на вершинах подводных холмов, покрытых молодыми

четвертичными осадками; в долинах между холмами при высоких скоростях придонных течений обнаруживаются более древние третичные осадки, на которых конкреции встречаются реже.

Карта позволяет выявить новые подходы к проблеме образования полей ЖМК. Однако вызывает сожаление, что на ней не указаны места распространения железомарганцевых корок на подводных обнажениях. По-видимому, учет этой разновидности отложений позволил бы в ряде случаев заполнить пространства с нулевой концентрацией ЖМК и показать, сколь значительно распространен на океанском дне единый процесс железомарганцевого рудообразования.

Е. С. Базилевская,
кандидат
геолого-минералогических наук
Москва

Климат Земли в палеозое и мезозое

Попытки численно реконструировать климат, существовавший на планете 100—600 млн лет назад, до сих пор не предпринимались. Для этого требуется иметь не только модель атмосферы, но и модели океана и ледниковых щитов Земли — ведь расположение континентов в тот период существенно отличалось от современного.

М. Я. Вербицкий (Отдел математического моделирования циркуляции океана и атмосферы Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР) использовал для воспроизведения климата палеозоя и мезозоя модернизированную термогидродинамическую модель системы ледники — океан — атмосфера. Решение описывающей модель системы уравнений дало следующие результаты. В позднем палеозое оледенение покрывало огромные площади суперконтинента Гондваны — от Южного полюса до 43° ю. ш. Крупный ледниковый щит толщиной около 3300 м сильно охладил климат Южного полушария: температура океана была ниже современной на 2°, а континентов — на 8° (местами — на 20°). В Северном же полушарии, где континенты выше 60° отсутствовали, температура океана и атмосферы была на несколько градусов выше.

В позднем мезозое, согласно модельным расчетам автора, покровное оледенение отсутствовало в обоих полушариях Земли, и температура в полярных широтах была выше: в Северном полушарии — на 15°, в Южном — на 5°. Вблизи экватора океанские воды были теплее на 1,5—2°, а в умеренных широтах — на 4—5°.

В этой модели нельзя, к сожалению, учесть изменения газового состава древней атмосферы. Таким образом, проведенные численные эксперименты, по сути, определяют чувствительность глобальной климатической системы к изменению взаимного расположения суши и моря. Однако чувствительность

оказалась весьма высокой, и на ее основе можно объяснить многие события в истории глобального климата (например, позднелавозойское оледенение Гондваны и потепление океанских вод в конце мезозоя).

Доклады АН СССР. 1987. Т. 293. № 1.
С. 210—214.

Палеоантропология

Новые гоминииды

Группа сотрудников Национального музея Кении (Найроби), руководимая Р. Лики (R. Leakey), обнаружила при раскопках в районе Калодирра на западном берегу оз. Туркана, в северной части Кении, остатки двух неизвестных гоминиидов (общих предков человека и обезьян), живших в позднем миоцене — 17—18 млн лет назад.

Хорошо сохранившиеся остатки черепной коробки, челюстей и зубов обоих гоминиидов дают достаточный материал для сопоставления их с ранее известными формами. Один из гоминиидов, размером с современного шимпанзе, имел вытянутую лицевую часть черепа; ему присвоено наименование афропитек. Другой, с более короткой лицевой частью, назван турканопитеком. Уже первичный анализ показал существенные отличия афропитека и турканопитека от других гоминиидов эпохи миоцена, в том числе от проконсула, населявшего Африку до разделения предкового ствола на обезьяню и человеческую ветви эволюции, и от близких проконсулу форм, известных по редким находкам в западной и северной Кении (их именуют кениапитеками, а время существования относят к промежутку между 17 и 10 млн лет назад).

Выясняется также, что калодиррские гоминииды мало схожи и с более поздними формами — азиатскими сивапитеками, которые начали появляться в Азии примерно 12 млн лет назад. Сейчас большинство спе-

циалистов рассматривают сивапитеков как предков orangutana и ставят их тем самым вне линии эволюции человека.

Еще недавно Р. Лики и его коллега А. Уокер (A. Walker; Университет Дж. Гопкинса, штат Пенсильвания, США) утверждали, что в Булуке, на северо-восточном берегу оз. Туркана, они обнаружили остатки древнего сивапитека. Ныне Лики согласился с мнением тех, кто считал, что сивапитек встречается лишь в Азии, хотя и имеет африканское происхождение, а остатки, найденные в Булуке, относят к новому виду — афропитеку турканскому.

Решение Лики дать новые родовые и видовые наименования находится в соответствии с широко распространенным среди палеоантропологов мнением, что многие виды гоминиидов с различными размерами тела, приспособленностью к разным условиям обитания возникли в Африке еще в эпоху миоцена. Подтверждается это тем фактом, что подобное разнообразие и приспособленность уже тогда были свойственны и многим другим млекопитающим. Как калодиррские формы соотносятся с другими гоминидами, еще неясно. Афропитек, возможно, родствен проконсулу, тогда как кениапитек может представлять собой общего древнего предка более поздних азиатских и африканских человекообразных обезьян и собственно человека. Что же касается турканопитека, то его место на эволюционном древе пока определить не удается.

Nature. 1986. Vol. 234. P. 143
(Великобритания).

МИСТЕРИИ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

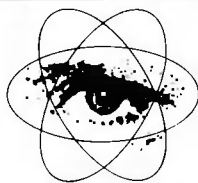
И. Ю. Кобзарев,
доктор физико-математических наук
Москва

СЕЙЧАС никто не сомневается в том, что квантовая теория и ее наиболее последовательная форма — квантовая теория поля¹ — описывают все известные нам пока явления природы (по крайней мере, за исключением сознания); тем не менее споры об интерпретации квантовой механики продолжают и время от времени становятся очень бурными. Одна из вспышек произошла после 1936 г., когда А. Эйнштейн, Б. Подольский и Н. Розен сформулировали то, что сейчас называют парадоксом ЭПР². Другая, совсем недавняя (80-е годы), породившая, видимо, около одной или двух сотен статей, возникла после того, как в серии опытов, из которых наиболее убедительными были опыты А. Аспека и его сотрудников, было показано, что явления типа парадокса ЭПР, которые на самом деле следуют из кванто-

¹ Основатели квантовой физики пользовались терминами квантовая теория и квантовая механика как равноправными, но сейчас под квантовой механикой часто подразумевают только нерелятивистскую часть квантовой теории, поэтому я буду во избежание недоразумений по возможности пользоваться первым термином, так как проблемы, обсуждаемые здесь, относятся к общему случаю.

² Эйнштейн А. Собр. науч. тр. Т. 3. М., 1966. С. 604.

THE GHOST IN THE ATOM



A discussion of the mysteries
of quantum physics

THE GHOST IN THE ATOM. A discussion of the mysteries of quantum physics / Ed. by P. C. W. Davies and J. R. Brown. Cambridge: Cambridge University Press, 1986. 157 p. (ПРИВИДИЕНИЕ ВНУТРИ АТОМА. Дискуссия о тайнах квантовой физики / Ред. П. Дэвис, Дж. Браун. Кембридж, 1986. 157 с.)

вой механики и парадоксальные только в рамках нашей пространственной интуиции, действительно происходят и могут экспериментально наблюдаться.

Рецензируемая книга представляет собой попытку представить содержание последней дискуссии широкому

кругу читателей, интересующихся состоянием точных наук, но не знающих их профессионально. История книги такова. Британская радиокорпорация Би-Би-Си создала программу телепередач — серию интервью с рядом физиков, в которых была сделана попытка в какой-то степени подвести итоги дискуссий. Эксперимент по своей смелости делает несомненную честь популяризаторам из Би-Би-Си — мне трудно представить себе выпуск нашей телевизионной программы, скажем «Очевидное-невероятное», посвященный проблемам интерпретации квантовой теории, столь сложным для обсуждения хотя бы на более или менее общедоступном уровне. Делает он честь и терпимости британского научного сообщества; в серии, наряду с тремя теоретиками, придерживающимися ортодоксальной интерпретации, восходящей к Н. Бору и В. Гейзенбергу, которую часто называют копенгагенской, представлены и четыре неконформиста.

Книга содержит введение, написанное П. Дэвисом (физиком-теоретиком, профессором университета в Ньюкасле на Тайне) и Дж. Брауном (сотрудником научного отдела Би-Би-Си), где изложены основные идеи квантовой теории, а также словарь терминов. Интервью вели тоже Дэвис и Браун. По моему мнению, книга получилась удачной. В ней практически нет формул и доказательств, но основные положения ортодоксальной и неортодоксальных интерпретаций изложены детально и ясно, а интерпретируемые физики «допрашивались» очень умело, так что слабые и сильные стороны их позиций демонстрируются под многими углами зрения. Мне кажется, что читатель, который хочет узнать, в чем состоят обсуждаемые проблемы, может получить настолько полное представление, насколько это можно сделать, не входя в технические детали.

В чем причина дискуссий, о которых рассказывается в книге? Построение нерелятивистской квантовой механики было завершено в конце 20-х годов, а на рубеже 20-х и 30-х была сформулирована квантовая электродинамика — первый пример квантовой теории поля. За прошедшие с тех пор 50 лет было с несомненностью продемонстрировано, что квантовая теория действует во всей области известных сейчас явлений — от сверхпроводимости до рождения $W \pm$ и Z^0 бозонов. Следует подчеркнуть, что речь идет не только об экзотических явлениях — без квантовой теории нельзя понять ни стабильность материи в земных условиях, ни простейшие свойства теплоемкостей газов и твердых тел, ни природу химической связи, ни механизм горения звезд.

Тем не менее в литературе можно постоянно встретить высказывания, что квантовую теорию никто не понимает или что она антиинтуитивна. Для этого есть реальные причины. В классической физике язык, на котором описывается физическая система сама по себе, и язык, на котором описываются данные производимых над ней измерений, совпадают. Так, теоретик, рассчитывающий с помощью уравнений Максвелла поведение электромагнитного поля, имеет дело с величинами электрического и магнитного полей, они же и измеряются. Мысленно мы можем представить себе электромагнитное поле как заданное в пространстве распределение этих двух полей. Аналогично в классической небесной механике: планеты можно с известной точностью представить как материальные точки — их положение и рассчитывается в теории.

В квантовой теории все не так. Язык, на котором описываются квантовые системы, — это язык абстрактной математики (для более осведомленных читателей — состояние системы

описывается вектором в бесконечномерном комплексном гильбертовом пространстве, еще точнее — в оснащенном гильбертовом пространстве). Система «сама по себе» вообще не «находится», так сказать, в обычном пространстве-времени. Говоря словами Бора, электроны — не вещи.

Выход за пределы пространственно-временной интуиции происходит уже в релятивистской квантовой теории двух электронов, которые описываются волновой функцией в шестимерном пространстве $\psi(\vec{r}_1, \vec{r}_2)$, где $\vec{r}_1, \vec{r}_2$ — векторы электронов 1 и 2. При наивном восприятии квантовой теории кажется, что тут нет ничего сложного: просто $|\psi(\vec{r}_1, \vec{r}_2)|^2$ есть вероятность обнаружить электрон 1 в точке $\vec{r}_1$ и электрон 2 в точке $\vec{r}_2$. Однако еще в 1936 г. в уже упоминавшейся работе Подольского, Розена и Эйнштейна было показано, что измерения над такой системой из двух частиц приводят, в рамках квантовой механики, к следствиям, резко противоречащим нашей пространственной интуиции. Это и называется сейчас парадоксом ЭПР.

Второй фокус дискуссий связан с теорией измерений в квантовой теории. Проекция абстрактного описания системы в мир обычного пространственно-временного опыта осуществляется измерениями с помощью макроприборов. В техническом плане описание их действия не вызывает проблем — макроприбор с всегда определенной и предсказываемой по определенному рецепту вероятностью дает то или иное значение измеряемой величины.

Необычность ситуации заключается опять-таки в принципиальном отличии от ситуации в классической физике: там вероятностный характер предсказаний связан или с неточным заданием начальных условий, или с внешними возмущениями, или с усреднением по времени. При этом механизм возникнове-

ния вероятностных распределений понятен. В квантовой механике дело обстоит не так: здесь эволюция системы в уже упомянутом «пространстве состояний» описывается чисто детерминистически. Чтобы перейти к вероятностному описанию, нужен отдельный постулат, который по отношению к остальному аппарату теории чужероден и выглядит странным. С этим связано то, что, хотя при анализе конкретных реальных измерений пока никогда не возникало проблем по вопросу о том, почему «постулат классического прибора» справедлив, в научной литературе существуют различные предположения.

И парадоксу ЭПР, и теории измерений посвящена обширная специальная литература, но я бы сказал, что даже профессионально подготовленному теоретику, который не знаком с этими вопросами, но хочет узнать, каково здесь состояние мнений, наверное, полезно начать с рецензируемой книги.

Во введении П. Дэвиса и Дж. Брауна кратко изложены основные идеи квантовой механики, сущность парадокса ЭПР и некоторые проблемы теории измерений. Кратко обсудим две последних темы.

Каждый, кто хоть немного интересовался квантовой механикой, знает о соотношении неопределенностей $\Delta p \cdot \Delta x \geq \hbar$. Здесь для простоты предполагается, что движение одномерно, p — импульс и x — координата. Соотношение неопределенностей означает, что в квантовой механике для «частицы» не существует состояний с заданным импульсом p и координатой x ; как бы ни готовить состояние, измерения x и p (которые должны осуществляться разными приборами) будут давать разбросы Δx и Δp , связанные соотношением $\Delta p \cdot \Delta x \geq \hbar$ (я поставил слово «частицы» в кавычки, чтобы подчеркнуть, что, собственно говоря, квантовые объекты частицами не явля-

ются). В частности, если, точно измерив p , приготовить состояние с заданным импульсом, то координата станет полностью неопределенной.

При наивном восприятии кажется, будто здесь дело в том, что макроприбор деформирует микрообъект — скажем, прибор, измеряющий импульс, «размазывает» объект по пространству, в результате чего координата становится неопределенной. Работа Подольского, Розена и Эйнштейна показала, что это не так. Было построено состояние двух частиц, для которого задана сумма импульсов и разность координат: $p_1 + p_2$ и $x_1 - x_2$ (знающие квантовую механику легко проверят, что соответствующие операторы коммутируют). Частицы 1 и 2 могут находиться сколь угодно далеко (скажем, по другой координате), тем не менее, измеряя x_2 , можно определить x_1 , а измеряя p_2 , определить p_1 . Парадокс ЭПР заключается в том, что при этом никакого воздействия на частицу 1 не происходит. В работе утверждалось, что раз это так, то частица 1 должна до измерения иметь определенные координату и импульс, а квантово-механическое описание — неполное.

Впоследствии были предложены различные варианты парадокса ЭПР. Вместо координат и импульсов можно рассматривать спины частиц 1 и 2 или их поляризации. Во всех случаях, измеряя систему 2, можно определить свойства системы 1, которые, согласно квантовой механике, нельзя задать одновременно. Как было сразу же указано Н. Бором³ и подробно разбирается в лекциях Л. И. Мандельштама⁴, все это не противо-

речит квантовой механике; в ней можно говорить только о состоянии системы 1+2 в целом. Производя измерения над частицей 2, мы по выбору можем узнать, скажем, импульс или координату частицы 1, но в разных (и несовместимых) опытах. Тем не менее интуитивно, действительно, кажется, что если импульс и координату частицы 1 можно определить, не воздействуя на нее, то она должна ими обладать до опыта.

Как показал в 1965 г. Дж. Белл, если принять точку зрения, что величины, которые можно измерять, не действуя на объект, должны быть присущи ему до измерения, то для их статистических распределений можно получить неравенства, противоречащие предсказаниям квантовой механики. Потом были найдены и другие похожие неравенства. Начиная с 1972 г. начали ставить опыты по их проверке — результаты, как и ожидало большинство физиков, подтвердили квантовую механику⁵.

Вторая тема введения в рецензируемую книгу — парадоксы теории измерений. Как, по-видимому, считал Бор, вероятностный характер предсказаний квантовой механики, относящихся к макроприборам, связан с тем, что для того, чтобы выполнить свои функции, макроприбор не может быть изолирован от внешнего мира — мы должны иметь возможность на него смотреть. Тогда возникает неконтролируемое действие внешнего мира на прибор и отсюда его вероятностное поведение. Во введении Дэвис и Браун описывают предложенный в 1935 г. Э. Шредингером мысленный опыт, называемый обычно опытом с кошкой в ящике. Рассматривается закрытый ящик,

в котором находится радиоактивный атом и счетчик Гейгера, который регистрирует распад атома, если он произошел, и включает ток в устройство, разбивающее ампулу с синильной кислотой, отчего кошка должна умереть. Система замкнута. Если применить к этому опыту квантовую механику по Бору и подобрать время надлежащим образом, то получится, что о состоянии кошки нельзя сказать — ни что она жива, ни что она мертва. Она и то и другое, как электрон, проходящий сразу через две щели. (Для знающих квантовую механику: можно подобрать параметры и время так, чтобы состояние кошки было суперпозицией живого и мертвого состояний с равными амплитудами.) Однако можно посмотреть на дело с другой стороны. Заменяем для ясности кошку человеком — он, как кажется, должен знать, жив он или нет.

Парадокс Шредингера есть по существу наглядная демонстрация трудностей теории измерений, известных еще со времен появления книги фон Неймана⁶. Выхода иногда ищут в предположениях, что описание сознания находится за пределами квантовой механики или что сознание, фиксирующее результат опыта, является ее неотъемлемой частью. Последние точки зрения придерживаются, в частности, представленные в рецензируемой книге Дж. Уилер и Р. Пайерлс, считающие себя сторонниками копенгагенской интерпретации (хотя точка зрения самого Бора, по-видимому, была другой).

Альтернативная точка зрения заключается в том, что предсказания квантовой теории относятся не к единичной системе, а к совокупности (ансамблю) идентично приготовленных систем. Мне кажется, что такая

³ Бор Н. Избр. науч. тр. Т. 2. М., 1971. С. 180.

⁴ Мандельштам Л. И. Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике. М., 1972. С. 325.

⁵ См. об этом: Спасский Б. И., Московский А. В. // Усп. физ. наук. 1984. Т. 142. Вып. 4. С. 599; Гриб А. А. // Там же. С. 619.

⁶ Нейман Дж. фон. Математические основы квантовой механики. М., 1964.

точка зрения логически неизбежна, так как вероятностные предсказания могут быть реализованы только на ансамблях. После этого следует констатировать, что пока определенный классический прибор не включен в систему, квантовая механика не утверждает ничего, что можно было бы выразить на языке обычного опыта. Если же классический прибор присутствует, то предсказывается вероятность его перехода в то или иное состояние, и эти переходы происходят независимо от того, наблюдаем мы их или нет. Так, в опыте с кошкой классическим прибором является счетчик Гейгера, и в половине случаев он срабатывает, в половине нет. Следовательно, в соответствующем ансамбле кошка будет в половине случаев убита, в половине — нет.

Принятие теории ансамблей, которую излагал еще Л. И. Мандельштам в цитированных лекциях, а в рецензируемой книге представляет Дж. Тейлор, во всяком случае, позволяет избежать темноты и путаницы.

В частности, нередко высказывается мнение, что в опытах типа ЭПР измерения над частицей 1 «влияют» на частицу 2. Чтобы понять, откуда возникает такое впечатление, удобно рассмотреть вариант опыта ЭПР, когда частица со спином 0 распадается на две частицы со спином $1/2$, разлетающиеся в противоположные стороны (с орбитальным моментом равным нулю). Пусть измерения делаются над частями, летящими по оси Z . Сумма спинов 1 и 2 равна нулю и соответственно равна нулю сумма их проекций на любое направление. Измеряя проекцию S_x спина частицы 1 на оси x , мы определим проекцию спина частицы 2 на эту же ось. Аналогично можно измерить проекции спина S_y частицы 2. Кажущаяся парадоксальность заключается в том, что для частицы 2

нельзя задать S_x и S_y одновременно. Но при измерении S_x или S_y для частицы 1 мы имеем два разных ансамбля, и это устраняет парадокс.

Пусть теперь частица 1 с $S_x = +1/2$ пропускается прибором в соответствующей точке, а с $S_x = -1/2$ не проходит через него. Соответственно, пусть прибор, измеряющий спин частицы, пропускает только частицу с $S_x = -1/2$. Тогда очевидно, что всегда, когда проходит частица 1, пройдет и частица 2. Означает ли это, что то, что происходит с частицей 1, влияет на то, что происходит с частицей 2? Безусловно, нет. Частица 2 проходит или не проходит в 50 % случаев для полного ансамбля; выбирая случаи, когда частица 1 проходит, мы выбираем подансамбль — при этом вероятность прохождения, конечно, оказывается другой.

Пусть теперь прибор, измеряющий спин частицы 1, повернут на 90° и пропускает частицы с $S_y = +1/2$. В этом случае, согласно квантовой механике, частица 2 будет проходить или застревать в половине случаев. Повлиял ли поворот прибора на то, что происходит с частицей 2? Конечно, нет — просто, выбирая случаи, когда частица 1 прошла, мы выбираем новый ансамбль, и в нем частица 2 проходит или не проходит в половине случаев.

Перейдем теперь к интервью. Первое из них было дано А. Аспеком (его серия опытов была поставлена в Орсе во Франции). В этих опытах измерялась корреляция поляризаций двух фотонов В и С, испущенных атомом кальция и разлетающихся в противоположные стороны. Уникальная особенность опыта заключалась в том, что приборы, измеряющие поляризацию, можно было как бы быстро поворачивать, благодаря чему прибор, измеряющий поляризацию фотона С, не мог успеть «узнать», какова была по-

ляризация В. Это было сделано для того, чтобы исключить гипотезу, будто измерение над В приводит к появлению некоторого агента, распространяющегося в С и меняющего состояние поляризации С. В этих условиях неравенство Белла могло бы нарушаться, и, в принципе, допустимо предположение, что при этом можно, оставаясь в рамках классических представлений о реальности, имитировать квантовую механику⁷. Аспек получил согласие с квантовой механикой и считает, что удивляться нечему, поскольку хорошо известно, что квантовая механика до сих пор подтверждалась всюду. Интервью содержит некоторые подробности о постановке опыта.

Следующее интервью дано Дж. Беллом, который, как оказывается, в стандартную квантовую теорию не верит, а верит в картину реальности в понимании Эйнштейна. Чтобы объяснить опыты А. Аспека, он предлагает ввести в теорию сверхсветовые воздействия, происходящие в процессе измерения. Хорошо известно, что частная теория относительности их не допускает. На соответствующий вопрос Белл ответил, что надо вернуться к точке зрения Лоренца — Пуанкаре, согласно которой есть эфир и выделенная система отсчета, а справедливость теории относительности имеет в известном смысле случайный характер: явления, возникающие при движении относительно эфира (сжатие тел и другие), компенсируют друг друга так, что это движение оказывается необнаружимым. Теория измерений формулируется в выделенной системе, и это, как надеется Белл, обеспечивает непротиворечивость построения. (Конечно, он предполагает, что

⁷ Такая конструкция предлагалась, в частности, Д. Бомом и описана в сб.: Вопросы причинности в квантовой механике. М., 1959.

сверхсветовых сигналов в обычном смысле нет.)

Следующие два интервью были взяты у Дж. Уилера и Р. Пайерлса. Оба автора придерживаются копенгагенской интерпретации и справедливо утверждают, что в ее рамках ничего удивительного нет. Пайерлс отказался, впрочем, пользоваться термином копенгагенская интерпретация, сказав, что другой вообще не существует. Оба автора, однако, считают, что сознание наблюдателя, фиксирующего результат измерения, есть неотъемлемая черта квантовой механики. С этой точкой зрения я согласиться не могу, мне кажется, что измеряющий прибор переходит в то или иное состояние с вероятностями, которые заданы независимо от того, смотрим мы на прибор или нет.

Затем идет интервью с Д. Дойтчем, изложившим свой вариант так называемой теории множественных миров Х. Эверетта. Согласно этой версии, наш мир существует в бесконечном множестве копий, а при измерении происходит не редукция⁸, а переход наблюдателя в какую-то из копий; другая копия наблюдателя переходит в другую копию мироздания, а сумма вероятностей переходов всегда равна единице. Очень вычурная конструкция, но некоторые физики надеются, что она может помочь в квантовой теории гравитации.

Как уже говорилось, Дж. Тейлор занимает в своем интервью наиболее трезвую позицию, настаивая на том, что квантовая механика есть описание не единичных объектов, а ансамблей. С этой точки зрения нет, конечно, ничего таинствен-

ного в экспериментах типа ЭПР — измерив импульс частицы 1, мы выбираем ансамбль, для которого задан импульс частицы 2, а координата полностью неопределенна, и наоборот. Никакого парадокса нет, поскольку ансамбли разные.

Тейлор выразил мнение, что опытов по проверке эффектов ЭПР можно было и не ставить, поскольку справедливость квантовой механики проверена в очень широком круге явлений, и трудно представить себе, чтобы существовала теория, которая всюду совпадала бы с квантовой механикой, а в опытах типа ЭПР давала другой результат. Это, действительно, крайне маловероятно — и все же, я думаю, что постановка соответствующих опытов не была бесполезной — они помогают уяснить сущность квантовой механики.

Статья Тейлора содержит также остроумное замечание по поводу идеи Эверетта — Дойтча: сейчас известно, что обработка эксперимента, скажем в ЦЕРНе, тянется месяцами — тогда в какой же момент наблюдатель выбирает свою копию мироздания.

Концепция ансамблей делает также излишним включение сознания в квантовую механику. Мне, однако, кажется, что отсюда не следует обратное — что квантовая механика не играет роли в работе мозга, как думает Тейлор.

Книга заканчивается интервью с Д. Бомом и его последователем Б. Хиллом; оба пытаются строить теорию, об основных идеях которой я уже писал — их излагал Дж. Белл. И Бом, и Хилл обвиняют квантовую механику в позитивизме и в том, что в ней отсутствует картина реальности.

Возможны разные мнения по поводу того, что, собственно, описывает квантовая теория. Можно думать, что квантовые состояния описывают объектив-

ный мир — но тогда этот мир находится за пределами нашей пространственно-временной интуиции. Можно думать, что квантовая механика описывает не физические системы, а наши знания о них — но тогда не очень понятно, почему она с такой точностью предсказывает явления. Выбор между этими вариантами (второй обычно называют позитивистским) нельзя сделать ни на основе самой квантовой теории, ни на основе ее философского анализа. Вероятно, квантовая парадигма не последняя в истории физики и следующая парадигма прольет какой-то свет на этот вопрос. Вряд ли при этом мы вернемся в наглядный мир Ньютона — Лоренца — Пуанкаре; теоретическая физика рассталась с наглядностью уже давно. Четырехмерное пространство-время Минковского уже не наглядно, общая теория относительности еще менее.

Что касается теории измерений, то вопрос о том, как функционируют классические приборы, вероятно, может быть существенно прояснен еще в рамках квантовой механики. Но обсуждение этой проблемы находится за пределами рецензируемой книги.

Замечу в заключение, что книга не свободна от отдельных неточностей. Например, анализ в интервью Дж. Тейлора опыта ЭПР со спинами совершенно непонятен. Читатель, который захочет получить не только общее впечатление о проблематике, рассматриваемой в книге, должен, конечно, обратиться к специальной литературе.

⁸ Редукцией в теории измерения называется фиксация одного из возможных состояний прибора, ведущая к выбору одного из возможных конечных состояний рассматриваемой системы.

Биология

В. Г. Галактионов. **ГРАФИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В ИММУНОЛОГИИ.** М.: Медицина. 1986. 240 с. Ц. 2 р. 10 к.

В монографии отражены четыре наиболее существенных раздела современной общей иммунологии, касающиеся молекулярных, клеточных и сравнительных аспектов изучения иммунитета («Молекулярная иммунология», «Клеточная иммунология», «Сравнительная иммунология», «Теория иммунитета»).

Особенность этой книги в том, что основное ее содержание представлено автором в графической форме. Это оригинальные цветные рисунки и схемы, фотографии, полученные с помощью электронного сканирующего микроскопа, таблицы. Графический образ, по мнению автора, наиболее удобен для восприятия таких сложных вопросов, как природа антигенности и иммуногенности; структура, функции и генетический контроль иммуноглобулинов; клеточная организация иммунной системы; взаимодействие генетически развивающихся клеток и проблема распознавания антигена; онто- и филогенез иммунной реактивности антител и т. д. Особенно полезна такая графическая форма рассказа научной молодежи и исследователям-смежникам.

Сегодня иммунологам предстоит ответить на целый ряд непростых вопросов: каким образом крайне сложный механизм защиты, включающий астрономическое количество специфических клеточных клонов, целый набор классов и подклассов иммуноглобулинов, несколько функционально разнородных субпопуляций лимфоцитов, десятки медиаторов иммунитета, действуют как единое целое; что служит центром управления всей системы иммунной защиты; каким образом включаются только те звенья иммунитета, которые требуются

именно в данный момент и в данном месте? «Атмосфера вокруг иммунологии насыщена предчувствием новых серьезных обобщений», — заключает автор.

Археология

АРХЕОЛОГИЯ КУБЫ / Отв. ред. Р. С. Васильевский. Новосибирск: Наука, 1986. 175 с., Ц. 2 р. 20 к.

Сборник отражает основную тематику многолетних совместных советско-кубинских археологических работ. Ряд статей посвящен памятникам бассейна р. Маяри, открытие которых показало, что человек на Кубе появился гораздо раньше, чем принято было думать. Тщательное изучение каменных орудий (проведенное Х. Феблесом, Р. С. Васильевским, В. И. Молодиным, А. К. Конопацким) позволило сопоставить их с культурами, существовавшими в эпоху позднего плейстоцена — раннего голоцена на побережье Мексиканского залива. Свидетельства самой древней деятельности человека на Кубе предварительно отнесены к периоду 8—6 тыс. лет назад. Анализ каменного инвентаря, выполненный Г. Ф. Коробковой, показал, что стоянки так называемой протоархаической эпохи различались по своей хозяйственной специализации. М. Пино, исследовавший пищевые остатки в некоторых из этих стоянок, установил, что в жизни древних обитателей острова наиболее значительную роль играло морское собирательство и рыболовство.

Другой блок материалов сборника рассказывает о древнем индейском населении Кубы, известном в литературе как сибоны и таино. В. П. Алексеев, изучив краниологические характеристики аборигенов, доказал их генетическую связь с карибско-аравакскими племенами Южной Америки. Памятникам

духовной культуры индейцев посвящены публикации о наскальной живописи в пещерах Сьерра-де-Кубитас, о ритуальных фигурках-семиес и других предметах мелкой пластики.

Сборник вводит в научный оборот новые данные, полученные при раскопках стоянок, которые производятся в ходе подготовки фундаментального «Археологического атласа Кубы». Завершается книга публикацией новой серии радиоуглеродных дат, относящихся к XII—XVII вв.

История науки

Э. Шмутцер, В. Шютц. **ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЙ** / Пер. с нем. Н. В. Мицкевича под ред. Г. М. Идлиса. М.: Мир, 1987. 143 с. Ц. 35 к.

Пожалуй, нет более известного даже самым далеким от науки людям ученого, чем Галилео Галилей, имя которого стало символом настойчивого стремления к истине. Литература о нем обширна. И все же книга двух специалистов из ГДР не потерялась в море написанного о Галилее и не раз переиздавалась на немецком языке. Э. Шмутцер и В. Шютц рисуют эпоху и окружение, в котором прошла жизнь Галилея, события и факты его личной и научной биографии, противоречивые черты его характера. Подробно рассказана история знаменитого судебного процесса. В заключительной главе анализируется влияние работ Галилея на дальнейшее развитие физики и других точных наук.

Древнерусский трактат о «человеческом естестве»

Н. К. Гаврюшин,
кандидат философских наук
Москва

КАКИЕ БЫТОВАЛИ в Древней Руси умозрения о строении человеческого тела? Имелись ли в них черты самостоятельности и оригинальности? На эти вопросы долгое время не было ответа, да и сами вопросы редко кому приходили в голову. Считалось обычно, что русское православие жестко обуздывало пылкую мысль, особенно в отношении «человеческого естества».

Правда, известно, что наши предки имели в своем распоряжении очень широкий набор природных лекарственных средств и методов хирургического лечения, предполагавших довольно тонкую ориентацию в области анатомии и физиологии¹. Но все же это характеризует лишь врачебную практику, которая могла быть основана на опыте и интуиции. А каков был уровень знаний в этой области? О нем до сих пор судили по переводным текстам, имевшим хождение в Древней Руси.

Наиболее распространенным книжным источником сведений о строении человеческого тела был «Шестоднев» Иоанна, экзарха Болгарского, писателя и церковного деятеля IX и X вв. В шестом слове его варианта комментариев к библейскому учению о шести днях творения не только сообщалось, что человек создан «по образу и подобию божью», но и давались краиниологические сведения (например, о наличии черепных швов, позволяющих различать пол умершего), сообщалось о составе мозгового вещества и т. п. Из «Шестоднева» эти сведения были заимствованы и со-

ставителем «Толковой Палев» (XIII—XIV вв.) — памятника противонудейской полемики, сохранившего натурфилософские и астрономические главы. Позднее эти сведения включались в сборники, составлявшиеся в монастырях.

С XV в. широкое распространение получает сокращенный перевод комментария Галена, римского врача II в. н. э., по поводу сочинения Гиппократов под названием «Галиново на Ипократов». Уже в 1424 г. эту статью собственноручно переписал Кирилл Белозерский, основатель знаменитого монастыря², а в XVI в. она была включена в состав первой русской энциклопедии — «Великих Миней-Четьей» митрополита Макария. В этот универсальный свод вошел и ряд других переводных статей антропологического и медико-биологического содержания, в том числе и «Диоптра» («Зерцало») Филиппа Пустынника с предисловием Михаила Пселла. Этот замечательный памятник византийской аскетико-психологической литературы XI в., излагающий достаточно стройную теорию «сопращения» души и тела в «человеческом естестве», стал известен в славяно-русском переводе с XIV в., а недавно, благодаря публикации Г. М. Прохорова³, стал широко доступным и современным читателям.

В XVI в. был сделан также ряд новых переводов, вошедших в древнерусскую книжность под названием «Лечебников», «Благопрохладных вертоградов» и т. п. Тогда же были переведены и так называемые «Проблемата» — псевдоаристотелевское сочинение, содержащее ряд анатомических и фи-

зиологических сведений. К нему тесно примыкает другая псевдоаристотелевская компиляция — «Тайная тайных», появившаяся впервые в кругах, связанных с ересью жидовствующих. «Тайная тайных» наполнена множеством суеверных представлений, и элементов естественнонаучного характера в ней сравнительно немного.

В середине XVII в., по свидетельству Евфимия Чудовского, Епифанием Славинским была переведена «Анатомия» Андрея Везалия, но рукопись этого сочинения не сохранилась.

Все упомянутые здесь тексты — переводные. О существовании какого-либо оригинального древнерусского сочинения по данной тематике сведений не было. Правда, нельзя не отметить, что внучка Владимира Мономаха, выданная в 1122 г. замуж за византийского царевича Алексея Комнина, написала, уже под именем царицы Зои, целый медицинский трактат на греческом языке⁴, но его, к сожалению, нельзя отнести к памятникам древнерусской научной мысли.

В силу этих обстоятельств совершенно исключительное значение приобретает анонимный трактат «О человеческом естестве, о видимом и невидимом», известный автору этих строк в четырех списках XVII в.

Впервые обратила на него внимание М. В. Безобразова в небольшой заметке «Психология XVI в.»⁵ Опираясь на один, неверно датированный ею список из собрания В. М. Ундольского № 950 и не приведя даже названия трактата, М. В. Безобразова, по существу, ограничилась кратким пересказом его

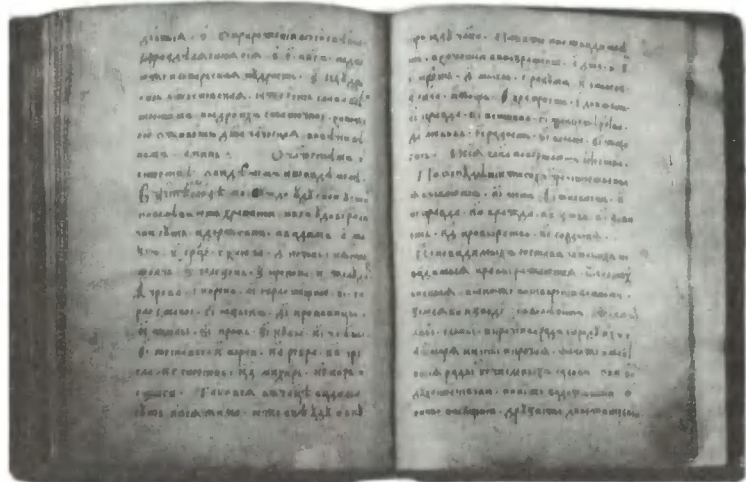
¹ Богоявленский Н. А. Индийская медицина в древнерусском врачевании. М., 1956; Он же. Отечественная анатомия и физиология в далеком прошлом. Л., 1970.

² Памятники литературы Древней Руси. Вторая пол. XV в. М., 1982.

³ Прохоров Г. М. Памятники переводной и русской литературы XIV—XV вв. Л., 1987.

⁴ Лопарев Хр. Брак Мстиславы // Византийский временник. Т. 9. 1902. С. 438—439.

⁵ Безобразова М. В. Исследования, лекции, мелочи. СПб, 1914. С. 3—6.



Трактат о человеческом естестве в рукописи 1640-х годов из собрания В. М. Ундольского № 930. Хранится в Отделе рукописей Государственной библиотеки им. В. И. Ленина.

содержания. Неудивительно, что статья М. В. Безобразовой вскоре оказалась столь же прочно забытой, как и сам трактат. Исследователя 80-х годов посетила радость первооткрывателя, и лишь счастливый случай уравновесил ее чувством исторической справедливости.

Все пока известные списки трактата — не ранее 30—40-х годов XVII в. Один из них — Синодального собрания, № 921, находился в богатой библиотеке справщика (редактора) Московского печатного двора священника Никифора Симеонова и сделан его рукою. Однако предполагать авторство Никифора нет достаточных оснований. К тому же наблюдения над редакциями и языком этого сочинения позволяют допустить, что оно могло возникнуть в значительно более раннее время.

Общая направленность трактата характеризуется стремлением сочетать «внешнее» анатомо-физиологическое знание с учением отцов церкви. Для переводных сочинений с латинского и польского подобная тен-

денция совершенно чужда, да и в языке трактата нет ни малейших следов зависимости от латинского или польского оригинала. По лингвистическим соображениям отпадает также и предположение о переводе с греческого. Трактат бесспорно оригинальный. Обратимся к его содержанию.

Начинается он с перечисления «видимых» частей человеческого тела. Однако «видимое» для автора — не только внешнее, это и внутренние органы, доступные наблюдателю при хирургической операции или анатомическом вскрытии. Всего автор выделяет 25 «видимых» частей, которые перечисляются в таком порядке: 1 — мозг, 2 — сердце, 3 — легкие («ключи»), 4 — печень, 5 — желчь, 6 — селезенка, 7 — диафрагма («препона»), 8 — желудок и т. д.

«Невидимый» состав насчитывает 17 частей. Это: 1 — душа, 2 — ум, 3 — мудрость, 4 — мысль, 5 — разум, 6 — смысл..., 16 — веселие, 17 — жалость. После определения «естественных» свойств и со-

стояний души следует указание, что вследствие их «оскудения» возникают «чрезъестественные» части «невидимого» состава: лень, ненависть, неправда, вражда, злоба, зависть, пронырство, гордыня. Таким образом, в «невидимом» составе в общей сложности оказывается тоже 25 частей.

Далее автор старается показать, как сопряжены в человеке тело и душа, какое соотношение имеется между частями «видимого» и «невидимого» состава, как поддерживается и почему нарушается их гармония. Для этого он пользуется древней микро-макроскопической аналогией, т. е. сопоставлением человека и Вселенной. Как из земли, согласно средневековым представлениям, произошли различные животные, птицы, пресмыкающиеся, насекомые, так и у человека «от видимых состав» рождаются «невидимые нравы». Голова, обиталище мозга, по традиции сравнивается с небом. «От мозга видимого раждается невидимый разум», «от сердца же

видимаго невидимая мудрость». От горла — голос, сравниваемый с небесным громом, «от селезни — гнев, от желчи — вражда, от крови — ярость».

Одновременно в трактате рассматриваются и физиологические функции внутренних органов, причем здесь мы встречаемся с достаточно глубокими представлениями. Например, указывается, что легкие помогают человеку плавать в воде — «понеже суть легка», а мочевого пузыря («михирь») играет важную роль в распознавании хода болезни: «яко почует михирь телесныя болезни утишение и мочию вся являет человеку».

Более подробно останавливаясь на возникновении «чрезъестественного» невидимого состава, автор пишет, что ложь, ненависть, клевета и прочее зло» бывают в человеке от неразумного сердца и от лукавого ума. Последний порождает бесстыдство, веселие и смех, тогда как «стыдение» производит печаль и слезы. Цепочка нравоучительных афоризмов о смехе и слезах настолько выразительна, что ее хочется привести полностью:

«Смех тело расслабляет, а плач лукавыя мысли прогоняет. Смех память смертную отгоняет, а плач греховныя похоти отсекает. Смех в прелесть вводит, а плач добродетели исправляет. Смех безобразия лица являет, а плач добродетели вводит. Смех главу отягчает и утробу растерзает, а плач душу облегчает к высоте. Смех всякому греху начаток, а плач греху искоренение. Смех греху рождение, а плач души очищение — роса бо есть небесная и капля дождевая в душевныя плоды».

В душевном составе человека есть равно семена добрых, «потребных» свойств (или «удов», т. е. членов) и «непотребных», злых. Склонности души определяют произрастание одних и увядание других. Но над ними возвышается ум, «царствуя и обладая всеми составы человеческими, видимыми и невидимыми». А от него, как быстрые посланники («скоропослицы») «невидимая и бесплотная мысли текут». Однако автор трактата вовремя напоминает, что ум далеко не самовластен: подобно тому, как семена «требуют дождя небесного от господя», так и он «беспрестани требует божественного посещения и утверждения». Созданный «по образу и подобию божию» человек нуждается в постоянном живом общении со своим первообразом.

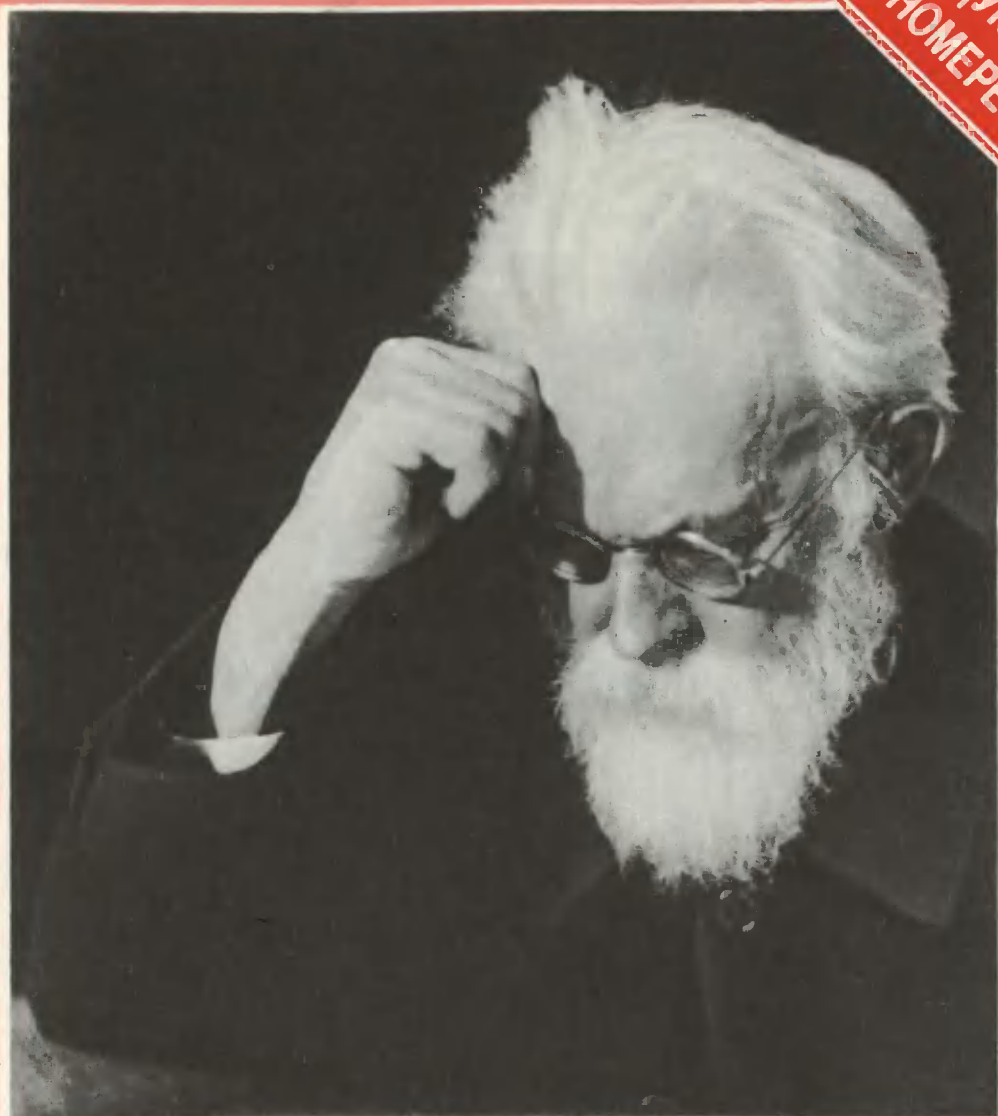
Ум способен сдерживать и обуздывать «плотские похоти», которые автор, вопреки своему назидательно-аскетическому настрою, считает неотде-

лимыми от человеческого естества: «без тех человек не может быть жив, понеже та сродна ему от рождения».

Последняя тема, которая затрагивается в трактате, — причины простудных заболеваний. Кашель («кашлица») появляется у человека из-за болезней легких, которые по своей природе подвержены самым различным воздействиям: «от запаления, и от возверения, и от студени, и от соку пишна, и от пития непотребна, и от трудов и болезни телесных, и от огня внутреняго, и от ветра воздушнаго».

На этой теме текст трактата во всех редакциях обрывается. Остается впечатление, что он неокончен. Мысль автора непрерывно переходила от натурфилософских обобщений к наставлениям, а от них — к врачебной практике, и вновь уходила в умозрительные эмпирии. Автор не создал законченной «системы» человеческого естества, но оставил нам живое и подлинное свидетельство самостоятельных исканий древнерусской натурфилософской мысли⁶.

⁶ Полностью текст трактата «О человеческом естестве, о видимом и невидимом» будет опубликован в сборнике «Естественнонаучные представления Древней Руси». М.: Наука, 1988.



**К 125-летию со дня рождения
ВЛАДИМИРА ИВАНОВИЧА ВЕРНАДСКОГО**
28.II(12.III)1863—6.I 1945

Один из образованнейших людей своей эпохи, великий натуралист и мыслитель, перешагнувший национальные границы, Владимир Иванович Вернадский стал частью общемировой науки и культуры. Заняв незыблемое место в истории двух столетий, он продолжает входить в наш мир как гениальный современник.

В февральском номере журнала читатели познакомятся с неопубликованными ранее работами Вернадского, а также со статьями Б. С. Соколова, К. П. Флоренского, А. А. Ярошевского, Н. Ф. Овчинникова, Р. К. Баландина, Г. П. Аксенова и др., в которых с разных сторон освещается образ и научное наследие великого ученого.



Природа, 1988, № 1, 1—128.

Цена 80 к.
Индекс 70707