

ISSN 0032-874X

2 ПРИРОДА

1981



Ежемесячный
популярный
естественнонаучный
журнал
Академии наук СССР

Основан в 1912 году



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
академик
Н. Г. БАСОВ

Доктор физико-математических наук
Е. В. АРТЮШКОВ

Доктор биологических наук
А. Г. БАННИКОВ

Академик
Д. К. БЕЛЯЕВ

Доктор биологических наук
А. Л. БЫЗОВ

Заместитель главного редактора
член-корреспондент АН СССР
В. М. ГАЛИЦКИЙ

Заместитель главного редактора
В. А. ГОНЧАРОВ

Доктор физико-математических
С. П. КАПИЦА

Академик
Б. М. КЕДРОВ

Доктор физико-математических наук
И. Ю. КОБЗАРЕВ

Академик
Н. К. КОЧЕТКОВ

Член-корреспондент АН СССР
В. Л. КРЕТОВИЧ

Доктор философских наук
Н. Ф. ОВЧИННИКОВ

Заместитель главного редактора
В. М. ПОЛЫНИН

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

Заместитель главного редактора
доктор биологических наук
А. К. СКВОРЦОВ

Доктор геолого-минералогических наук
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора
кандидат технических наук
А. С. ФЕДОРОВ

Член-корреспондент АН СССР
В. Е. ХАИН

Член-корреспондент АН СССР
Р. Б. ХЕСИН

Академик
В. А. ЭНГЕЛЬГАРДТ

Доктор биологических наук
А. В. ЯБЛОКОВ



— 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. Подробно о программе см.: «Природа», 1979, № 1, с. 28.

На первой странице обложки. Весенние пастбищные травы в предгорных пустынях. См. в номере: Нечаева Н. Т., Шамсутдинов З. Ш., Мухаммедов Г. М. Обогащение пустынных пастбищ Средней Азии.

Фото А. В. Гражданкина.

На четвертой странице обложки. Декоративные изделия из чаронта, минерала, открытого советскими геологами. См. в номере: Портнов А. М. Чаронт — новый минерал и ювелирно-поделочный камень.

Фото Н. Н. Алексеева.

В НОМЕРЕ

НАВСТРЕЧУ XXVI СЪЕЗДУ КПСС	Наука и строительство коммунизма	2
НАВСТРЕЧУ XXVI СЪЕЗДУ КПСС	Легасов В. А., Кузьмин И. И. Проблемы энергетики	8
НАВСТРЕЧУ XXVI СЪЕЗДУ КПСС	Ломов Б. Ф. Психология: итоги, проблемы, эксперименты	24
	Бочков Н. П. Мутационный процесс у человека и прогнозирование его эффектов	32
НАВСТРЕЧУ XXVI СЪЕЗДУ КПСС	Изд. МГУ Нечаева Н. Т., Шамсутдинов З. Ш., Мухаммедов Г. М. Пути улучшения пустынных пастбищ Средней Азии	40
	Гапонов-Грехов А. В., Рабинович М. И. Хаотическая динамика простых систем	54
НАВСТРЕЧУ XXVI СЪЕЗДУ КПСС	Изд. МГУ Кузнецов Н. Т. Будущее Арала и Приаралья	66
	Барсуков В. Л., Волков В. П. Атмосфера и породы поверхности Венеры: факты и прогнозы	75
	МСТИСЛАВ ВСЕВОЛОДОВИЧ КЕЛДЫШ К 70-летию со дня рождения	84
	Седов Л. И. Выдающийся ученый и организатор советской науки и техники	84
	Лаврентьев М. А. Воспоминания о М. В. Келдыше	91
	Данилян Г. В. Зеркальная симметрия и деление ядер	94
НОВОСТИ НАУКИ		103
	Виктор Михайлович Галицкий	118
КНИГИ, ЖУРНАЛЫ	Васильев П. В. Ленинские идеи в современном анализе развития науки (120). Слепцов Н. С. Молодость науки (122). Цверева Г. К. Исторические корни советско-американских научных связей (124).	120
НОВЫЕ КНИГИ		126

Наука и строительство коммунизма

В обстановке огромного политического и трудового подъема встречает наша страна XXVI съезд КПСС. Очередной партийный форум обобщит все, что достигнуто партией и народом за минувшее пятилетие, определит стратегию и тактику социально-экономического развития СССР на наступающем этапе коммунистического строительства, наметит основную линию внутренней и внешней политики Советского государства. «Минувшие годы,— отмечал на октябрьском (1980 г.) Пленуме ЦК КПСС Л. И. Брежнев,— подтвердили правильность экономической стратегии, выработанной на XXIV и XXV съездах партии. Значительно возрос экономический и оборонный потенциал нашей страны. Сделан новый крупный шаг в развитии всего народного хозяйства, в решении больших и важных социальных задач»¹.

В период подготовки к XXVI съезду КПСС трудящиеся с большим вдохновением и активностью обсуждают важнейший, поистине исторический документ — проект Центрального Комитета КПСС к XXVI съезду партии «Основные направления экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года». В предстоящие две пятилетки наша страна будет располагать значительно большими материальными ресурсами, более высоким экономическим потенциалом по сравнению с истекшим десятилетием. Это позволит еще шире развернуть программу дальнейшего научно-технического прогресса, создаст новые возможности для более быстрого претворения в жизнь социально-экономических задач, выдвинутых Коммунистической партией и направленных к завоеванию новых рубе-

жей в создании материально-технической базы коммунизма, к повышению благосостояния советских людей.

«В восьмидесятые годы,— говорится в документе ЦК КПСС,— Коммунистическая партия будет последовательно продолжать осуществление своей экономической стратегии, высшая цель которой — неуклонный подъем материального и культурного уровня жизни народа, создание лучших условий для всестороннего развития личности на основе дальнейшего повышения эффективности всего общественного производства, увеличения производительности труда, роста социальной и трудовой активности советских людей»².

Одной из наиболее характерных особенностей нынешнего этапа в жизни зрелого социалистического общества, созданного в СССР, является быстро развивающийся научно-технический прогресс во всех областях народного хозяйства. Дальнейший рост научного потенциала страны стал могучим рычагом создания материально-технической базы коммунизма. «Мы, коммунисты,— говорил на XXV съезде КПСС Л. И. Брежнев,— исходим из того, что только в условиях социализма научно-техническая революция обретает верное, отвечающее интересам человека и общества направление. В свою очередь, только на основе ускоренного развития науки и техники могут быть решены конечные задачи революции социальной»³. построено коммунистическое общество»³.

² Проект ЦК КПСС к XXVI съезду партии «Основные направления экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года». — Правда, 1980, 2 дек.

³ Материалы XXV съезда КПСС. М.: Политиздат, 1976, с. 47.

¹ Правда, 1980, 22 окт.

Советская наука базируется на высшем достижении человеческого разума — материалистической диалектике. Единственной надежной основой для разработки правильной стратегии и тактики является марксистско-ленинское учение. Высокие идеалы коммунизма вдохновляют советских ученых на новые успехи в научном творчестве, на беззаветное служение народу. Коммунистическая партия и Советское правительство неизменно осуществляют курс на дальнейшее развитие науки и повышение ее роли в коммунистическом строительстве.

Развитие советской науки обеспечивается творческим трудом ученых, работающих в научно-исследовательских учреждениях Академии наук СССР, академий наук союзных республик, отраслевых академий, в научных институтах министерств и ведомств, в высших учебных заведениях. Неоценимый вклад в развитие науки и техники вносит многомиллионная армия специалистов, изобретателей и рационализаторов, которые трудятся во всех отраслях народного хозяйства.

Научно-технический прогресс нашего времени опирается на высокий промышленный потенциал, достигнутый в Советском Союзе, — на могучую энергетическую базу, передовое машиностроение, развитую металлургию, на достижения в научном приборостроении, радиоэлектронике, вычислительной технике и т. д. В свою очередь, успехи в фундаментальных областях знания, прежде всего в естественных и общественных науках, в огромной степени стимулируют развитие производительных сил, играют большую роль в ускорении перевода всей нашей экономики на пути интенсификации.

Наука в СССР развивается широким фронтом, охватывающим все важнейшие направления научно-технического прогресса. В минувшей пятилетке в соответствии с директивами XXV съезда КПСС широкий размах получили исследования в области фундаментальных наук, цель которых состоит в разработке основных условий и предпосылок дальнейшего научно-технического прогресса во всех областях народного хозяйства. Эти науки открывают и исследуют закономерности развития природы и общества, играют важнейшую роль в воспитании материалистического мировоззрения трудящихся.

«Мы прекрасно знаем, — отмечал Л. И. Брежнев на XXV съезде партии, — что полноводный поток научно-технического прогресса иссякнет, если его не будут

постоянно питать фундаментальные исследования.

Курс партии состоит в том, чтобы и впредь проявлять постоянную заботу о развитии большой науки, о ее главном штабе — Академии наук... Там сосредоточен цвет нашей науки — умудренные опытом основатели научных школ и направлений и наиболее талантливые молодые ученые, прокладывающие новые пути к вершинам знаний. Партия высоко ценит деятельность академии и будет поднимать ее роль как центра теоретических исследований, координатора всей научной работы в стране⁴.

По поручению ЦК КПСС и правительства Академией наук СССР и Государственным комитетом СССР по науке и технике разработана Комплексная программа научно-технического прогресса до 2000 г. В составлении этой программы участвовало около 2 тыс. ученых и специалистов, объединенных в тридцати комиссиях и рабочих группах. Подготовлены предложения, определяющие главные направления развития науки и техники в СССР.

Академия наук СССР становится постоянно действующим штабом по координации научных исследований во всей стране. На институты Академии возложена разработка фундаментальных проблем в области естествознания и общественных наук. «Акцент на развитие фундаментальных проблем науки чрезвычайно знаменателен, — говорил на XXV съезде КПСС президент АН СССР А. П. Александров. — Он показывает, что партия и правительство ясно и глубоко видят логику развития науки, механизм научно-технического прогресса. Очень легко, взявшись за малые задачи сегодняшнего дня, быстро получить эффектный результат. Но глубоко правильно сказал Леонид Ильич Брежнев, что не эти результаты определяют технический прогресс страны, что нет ничего более практичного, чем хорошая теория. Именно прогресс фундаментальных знаний изменяет, казалось бы, установившиеся и неизменяемые в науке точки зрения, открывает новые области в науке и технике, коренным образом меняет технологию, приводит к появлению новых материалов и открывает возможности использования совершенно новых, часто неожиданных явлений в областях, совершенно не имевших никакого

⁴ Там же, с. 48.

отношения к первоначальной области исследования»⁵.

Советская наука находится на передовых рубежах мировой науки. Широкой известностью пользуются открытия советских ученых в важнейших областях фундаментальных наук — математике, механике, физике, химии и др. Развитие фундаментальных областей знания обеспечило приоритет Советского Союза в изучении и освоении космического пространства, в создании атомной энергетики, в конструировании и производстве уникальных агрегатов для машиностроительной, топливной, металлургической, энергетической и других решающих отраслей индустрии.

Современная наука становится важнейшей производительной силой. Все отрасли материального производства, вся духовная жизнь общества ныне органически связаны с ее развитием. Научные исследования в фундаментальных областях знания призваны открывать новые пути и возможности для преобразования производительных сил, создания новой технологии и техники, способствовать переводу всей экономики страны на рельсы интенсивного развития.

Задачи советской науки в новой пятилетке и в последующие годы коммунистического строительства широки и многогранны. Их решение требует разработки и реализации целевых комплексных программ по важнейшим направлениям научно-технического прогресса. Одной из таких программ является определение оптимальных путей дальнейшего развития топливно-энергетического комплекса. Наша страна на длительный период обеспечена всеми видами природных ресурсов и может беспрепятственно развивать все отрасли народного хозяйства. Тем не менее вопросам развития советской энергетики, совершенствования ее структуры всегда уделялось и уделяется первостепенное внимание. Опережающее развитие энергетики создаст необходимые предпосылки для дальнейшего прогресса экономики.

Советский Союз по праву гордится своими успехами в области электрификации. За исторически короткий срок производство электроэнергии увеличилось с 26,3 млрд кВт · ч (1935 г. — конечный срок выполнения плана ГОЭЛРО) до 1238,2 млрд кВт · ч в 1979 г. Установленная мощность электростанций нашей страны

превысила к началу 1980 г. 255 млн кВт. Систематически увеличивалась концентрация энергетической мощности. 70 электростанций имеют мощность по 1 млн кВт и более, их общая мощность составляет 54% мощности всех электростанций СССР. Семь наиболее крупных электростанций страны имеют мощность по 3 млн кВт и выше.

Основой нашей электроэнергетики по-прежнему являются тепловые электростанции. Они вырабатывают 82% всей электроэнергии. Продолжается строительство гидроэлектростанций. На начало 1980 г. их общая мощность достигла 50 млн кВт. 14 наиболее крупных ГЭС имеют единичную мощность в 1 млн кВт и более. На гидроэлектростанциях вырабатывается почти 14% электроэнергии страны.

Заметный вклад в народное хозяйство уже вносит атомная энергетика. К началу 1980 г. в СССР эксплуатировалось 12 АЭС общей мощностью более 10 млн кВт. За 1976—1979 гг. производство электроэнергии на атомных станциях возросло почти в три раза. Продолжается строительство Смоленской, Калининской, Южно-Украинской и других АЭС проектной мощностью по 2—3 млн кВт и более.

Одним из важнейших достижений в развитии советской электроэнергетики является создание Единой энергетической системы СССР. В настоящее время, после присоединения к ЕЭС объединенной энергосистемы Сибири, электрические сети ЕЭС СССР охватывают территорию площадью 10 млн км², на которой проживает 83% населения страны⁶.

Намечено довести выработку электроэнергии к 1985 г. до 1550—1600 млрд кВт · ч, в том числе на атомных электростанциях до 220—225 млрд кВт · ч и на гидроэлектростанциях до 230—235 млрд кВт · ч. За пятилетие на атомных электростанциях будет введено в действие 24—25 млн кВт новых мощностей. Выработка электроэнергии на АЭС почти достигнет уровня производства энергии гидроэлектростанциями. Продолжатся работы по освоению реакторов на быстрых нейтронах и использованию ядерного топлива для выработки тепловой энергии. В новой пятилетке намечено положить первые линии электропередач постоянного тока напряжением 1500 кВ и линии переменного тока напряжением 1150 кВ.

⁵ Правда, 1976, 27 февр.

⁶ Электроэнергетика и энергетическое строительство СССР. Статистический обзор. М.: Информэнерго, 1980, с. 7—11.

Советские ученые продолжают работать над дальнейшим совершенствованием топливно-энергетического баланса. Создана экспериментальная электростанция для непосредственного преобразования тепловой энергии в электрическую с помощью магнитно-гидродинамического генератора, сооружаются крупные экспериментальные установки по использованию солнечной энергии, силы ветра, внутреннего тепла Земли, морских приливов и т. д. Продолжаются работы по созданию основ термоядерной энергетики.

Таким образом, только на примере топливно-энергетической программы можно видеть, каких больших успехов достигла наша страна и наша наука, какие большие задачи ставятся перед советскими учеными.

Проект ЦК КПСС содержит развернутую характеристику развития агропромышленного комплекса, основной задачей которого является надежное обеспечение страны продовольствием и сельскохозяйственным сырьем. Необходимо добиться динамичного развития и повышения эффективности всех его отраслей, увеличения производства и улучшения качества продукции. Будет продолжен курс на всемерную интенсификацию сельскохозяйственного производства. Среднегодовой прирост продукции сельского хозяйства составит за пятилетие 12—14%. Среднегодовой валовой сбор зерна предстоит довести до 238—243 млн т, хлопка-сырца до 9,2—9,3 млн т, производство мяса до 17—17,5 млн т. Значительно возрастет производство других видов сельскохозяйственной продукции. В новой пятилетке намечено в 1,4—1,5 раза повысить электрооруженность труда в сельском хозяйстве, продолжить его техническое перевооружение на базе новой техники, осуществлять дальнейшую химизацию земледелия и животноводства, а также развитие мелиорации земель. Документом ЦК КПСС предусмотрено проведение подготовительных работ по переброске части стока северных рек в бассейн Волги, продолжение научных и проектных проработок по переброске вод сибирских рек в Среднюю Азию и Казахстан.

Развитие агропромышленного комплекса выдвигает перед советской наукой большие и актуальные задачи. Усилия ученые еще в большей мере должны быть направлены на разработку научно обоснованных мероприятий и конкретных рекомендаций по обеспечению дальнейшей интенсификации сельскохозяйственного производства, всемерному повышению эф-

фективности земледелия и животноводства, качества продукции сельского хозяйства.

Забота о прогрессивном развитии сельского хозяйства является давнишней традицией отечественной науки. Более двух столетий назад по инициативе М. В. Ломоносова были заложены основы сельскохозяйственной науки в России, создано Вольное экономическое общество, сыгравшее большую роль в становлении русской агрономии. В золотой фонд мировой науки вошли классические работы ученых нашей страны в области почвоведения, агрономии и агрохимии, селекции и генетики сельскохозяйственных растений, зоотехники, мелиорации, механизации сельскохозяйственного производства. Развивая и обогащая труды своих предшественников, ученые нашего времени достигли больших успехов в развитии биологических и сельскохозяйственных наук. Их усилиями созданы новые породы сельскохозяйственных животных и новые виды растений, отличающиеся высокой урожайностью, засухо- и морозостойкостью и другими ценными качествами, разработаны новые удобрения и гербициды, новые способы мелиорации, сконструированы высокопроизводительные сельскохозяйственные машины.

В Советском Союзе создана большая сеть научно-исследовательских учреждений, занимающихся проблемами развития сельскохозяйственного производства. Крупную роль в прогрессе сельского хозяйства играет Всесоюзная академия сельскохозяйственных наук имени В. И. Ленина (ВАСХНИЛ), основанная в 1929 г. В ее состав входит большое число научных учреждений — институтов и опытных станций, размещенных в различных районах СССР. В нашей стране издается сейчас более 120 сельскохозяйственных журналов.

В разработке многогранных проблем ускорения научно-технического прогресса в сельском хозяйстве активное участие принимают научные учреждения Академии наук СССР и академий наук союзных республик. Из 17 отделений АН СССР в десяти разрабатывается тематика сельскохозяйственного профиля. Более 60 учреждений АН СССР, ее филиалов и научных центров, а также около 70 учреждений республиканских академий участвуют в разработке фундаментальных проблем сельского хозяйства. Для координации научных исследований при Президиуме АН СССР создана Комиссия по научным основам сельского хозяйства. Координацию научной работы по важнейшим проблемам сельского хозяйст-

ва ведут также 20 научных советов АН СССР.

6—7 декабря 1978 г. в Москве проходила сессия Общего собрания АН СССР, посвященная задачам фундаментальных наук в области эффективного развития сельского хозяйства. В работе Общего собрания приняли участие ученые ВАСХНИЛ, отраслевых научных учреждений, руководители министерств и ведомств. Собрание, прошедшее под девизом «Наука — сельскому хозяйству», наметило план конкретных мероприятий, способствующих повышению вклада науки в развитие сельскохозяйственного производства.

Агропромышленный комплекс включает в себя не только сельскохозяйственное производство, но и крупные отрасли промышленности, занимающиеся изготовлением удобрений, техники и другой продукции для сельского хозяйства, а также те отрасли, которые осуществляют заготовку, переработку, транспортировку и хранение сельскохозяйственной продукции. В этих условиях важное значение приобретает разработка вопросов межотраслевого взаимодействия, совершенствования управления комплексом, социальных, экономических и правовых проблем современного села, вопросов рациональной организации труда и многих других. В решении всех этих проблем принимают активное участие представители советской общественной науки, вклад которых в дальнейшее развитие сельскохозяйственного производства должен быть весьма значительным.

«Академия наук СССР,— заявил президент АН СССР А. П. Александров,— выполнит свой долг перед страной и внесет большой вклад в дальнейшее совершенствование сельского хозяйства — этой огромной сферы приложения сил всего нашего народа»⁷.

Одной из важнейших социальных задач Советского государства является забота о здоровье трудящихся. В «Основных направлениях экономического и социального развития СССР» большое внимание уделяется вопросам здравоохранения; намечено, в частности, принять меры к ускоренному и широкому внедрению в медицинскую практику достижений современной науки и техники. Многие успехи медицины основываются на достижениях биологии, химии, физиологии и других фундаментальных областей знания. Вопросы взаимодействия фундаментальных наук и

медицины была посвящена совместная сессия Общего собрания Академии наук СССР и Академии медицинских наук, состоявшаяся в Москве 19—20 ноября 1980 г. Намечена широкая программа научных исследований в области медицины и здравоохранения, подчеркнута необходимость быстрейшего использования достижений науки в практической медицине. Для разработки объединенной комплексной программы и претворения ее в жизнь создан межведомственный совет по фундаментальным проблемам медицинской науки.

Проектом ЦК КПСС намечен широкий план мероприятий по улучшению дела охраны природы. Должна быть усилена работа по сохранению сельскохозяйственных угодий, борьбе с эрозией, повышению темпов рекультивации земель, обеспечению их защиты от селей, оползней, обвалов, засоления, заболачивания, подтопления и иссушения. Будет ускорено строительство водоохраненных объектов, увеличены мощности систем оборотного и повторного использования воды, намечено разрабатывать и внедрять на предприятиях бессточные системы водоиспользования. Большое внимание уделяется совершенствованию технологических процессов с целью сокращения выбросов вредных веществ в атмосферу и улучшения очистки отходящих газов.

В 11-й пятилетке намечено расширение работ по защитному лесоразведению, созданию новых и благоустройству имеющихся зеленых зон вокруг городов и поселков. Продолжится формирование научно обоснованной сети заповедных территорий и национальных парков. Будут осуществляться меры по сбалансированному увеличению численности диких животных, по воспроизводству в естественных водоемах и водохранилищах ценных видов рыбы.

Проблемы защиты и сохранения окружающей среды находятся сейчас в центре внимания мировой общественности. Воздействие человека на природу непрерывно возрастает и уже приобрело глобальный характер. В нашей стране охрана природы является общегосударственным, общенародным делом. К нему привлекаются широкие круги общественности. Охрана и улучшение окружающей человека среды, сохранение и воспроизводство природных богатств предусмотрены Конституцией СССР.

Проектом определены перспективы развития фундаментальных областей знания на предстоящее десятилетие. В области общественных наук большое место в науч-

⁷ Вестник АН СССР, 1979, № 3, с. 9.

ных исследованиях займет обобщение опыта революционно-преобразующей деятельности КПСС, международного коммунистического и рабочего движения, разработка проблем диалектического и исторического материализма, политической экономии.

Будут расширены исследования по теоретическим вопросам развитого социализма, создания материально-технической базы коммунизма и совершенствования производственных отношений, повышения эффективности общественного производства. Намечено расширение исследований по социально-экономическим проблемам научно-технического прогресса, совершенствованию управления народным хозяйством, аграрной политике, демографии и использованию трудовых ресурсов.

Будут исследованы проблемы социальной структуры и политической системы зрелого социализма, коммунистического воспитания, всестороннего и гармоничного развития человека, социалистического образа жизни.

Продолжатся исследования закономерностей развития мировой социалистической системы, проблем социалистической экономической интеграции и внешнеэкономических связей. Большое внимание уделяется изучению вопросов экономики и политики капиталистических и развивающихся стран, критике антикоммунизма, буржуазных и ревизионистских концепций общественного развития, разоблачению фальсификаторов марксизма-ленинизма.

Огромные задачи поставлены перед учеными в области естественных и технических наук. Их усилия будут сосредоточены на решении важнейших научных проблем. В физико-математических областях знаний — это дальнейшее развитие математической теории, повышение эффективности ее использования в прикладных целях; развитие физики элементарных частиц и атомного ядра с целью дальнейшего познания строения материи. Продолжатся работы по развитию ядерной и созданию основ термоядерной энергетики, совершенствованию методов преобразования и передачи энергии.

В области химии важнейшей задачей является создание химико-технологических процессов получения новых веществ и материалов с заданными свойствами, научных основ технологий комплексного использования сырья и побочных продуктов, сберегающих энергетические и трудовые ресурсы, использующих замкнутые технологические циклы.

В наступившем пятилетии ученые будут работать над дальнейшим повышением качества, надежности, экономичности и производительности машин, оборудования и других изделий машиностроения, снижения их материалоемкости и энергопотребления. Будут совершенствоваться вычислительная техника, повышаться эффективность автоматизированных систем управления, развиваться сети ЭВМ и вычислительных центров коллективного пользования.

Усилия биологов намечено сосредоточить на познании механизма физиологических, биохимических, генетических и иммунологических процессов жизнедеятельности, совершенствовании методов профилактики, диагностики и лечения наиболее распространенных заболеваний, разработке новых лекарственных средств, препаратов и медицинского оборудования.

Перед советской наукой по-прежнему стоит задача выведения новых высокопродуктивных сортов растений, пород животных и культур полезных микроорганизмов, создание новых физиологически активных веществ. Будет продолжаться разработка биотехнических процессов для производства продукции, используемой в медицине, сельском хозяйстве и промышленности.

В СССР продолжится изучение и освоение космического пространства в интересах развития науки, техники и народного хозяйства. Проект акцентирует внимание ученых на повышение эффективности мероприятий в области охраны природы, рационального использования ресурсов биосферы, Мирового океана и морских шельфов, совершенствование методов прогнозирования погоды и других явлений природы.

Таковы основные направления развития фундаментальных наук в ближайшие два пятилетия. Перед советскими учеными стоит задача непрерывно повышать эффективность научных исследований, сокращать сроки внедрения достижений науки в производство, совершенствовать координацию работы научных учреждений, особенно при решении комплексных проблем науки и народного хозяйства.

Советские ученые как и весь наш народ одобряют и поддерживают сформулированные в проекте ЦК КПСС основные направления экономического и социального развития СССР, дальнейшего научно-технического прогресса, развития производительных сил страны и в реализации намеченных партией планов видят залог успешного продвижения советского общества по пути строительства коммунизма.

НАВСТРЕЧУ XXVI СЪЕЗДУ КПСС

Проблемы энергетики

В. А. Легасов, И. И. Кузьмин



Валерий Алексеевич Легасов, член-корреспондент АН СССР, заместитель директора и начальник лаборатории неравновесных процессов Института атомной энергии им. И. В. Курчатова. Основные научные интересы связаны с проблемами атомной и водородной энергетики, химией плазмы и синтезом соединений благородных газов. В «Природе» опубликовал статьи: Химия плазмы (в соавторстве), 1975, № 11; Водородная энергетика, 1977, № 3; Проблемы безопасности на атомных электростанциях, 1980, № 6. Лауреат Государственной премии.



Игорь Иванович Кузьмин, кандидат физико-математических наук, исполняющий обязанности начальника лаборатории того же института. Основные научные интересы связаны с теорией ядра, проблемами атомной энергетики. Автор книг: Современные достижения атомной энергетики. М.: Знание, 1977; Ядерная энергетика и внешняя среда (в соавторстве). М.: Знание, 1977. В «Природе» опубликовал статьи: Экологические проблемы атомной энергетики (в соавторстве), 1978, № 10; Проблемы безопасности на атомных электростанциях (в соавторстве), 1980, № 6.

Как оценить масштабы мировой потребности в энергии на протяжении нескольких столетий? Обычно для такого прогноза используют экстраполяцию, выбирая в качестве исходных данных текущие темпы роста потребления энергии.

Однако мировой опыт показывает, что в странах, достигнувших определенного уровня развития (социального, экономического и технического), темпы роста населения и прироста удельного потребления энергии снижаются.

Потому, отказавшись от традиционной экстраполяции, используем концептуальный подход, основанный на следующем предположении: уровень потребления энергии на душу населения и численность населения в мире и в отдельных странах

в конечном счете придут к стационарному состоянию.

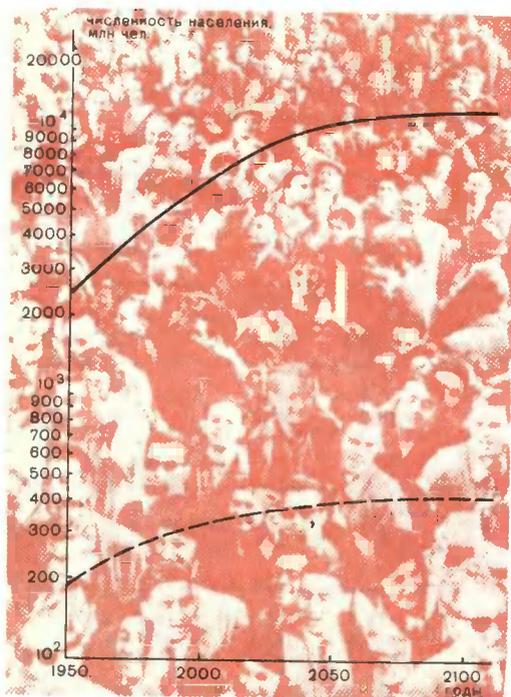
АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРЕДСТОЯЩЕГО РОСТА ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ В МИРЕ

Назовем модель роста потребления энергии в мире «гипотетической», поскольку она строится на предположениях, хотя и обоснованных, но не доказанных строго во всех отношениях. Изменения численности населения и удельного потребления энергии с настоящего времени до момента стабилизации в соответствии с предположениями, на которых базируется гипотетическая модель, оценим исходя из следующих соображений.

Изменения численности населения в мире будем определять из демографического прогноза ООН¹, составленного на период до 2125 г. В соответствии с его данными численность населения стабилизируется к 2100 г. на уровне ~ 12 млрд чел. Большинство демографов, в том числе и советских, считает этот прогноз научно обоснованным.

Рост удельного потребления энергии рассчитаем с помощью формулы²:

$$W_p(t) = W_{st} / (1 + \exp(r - ct)),$$

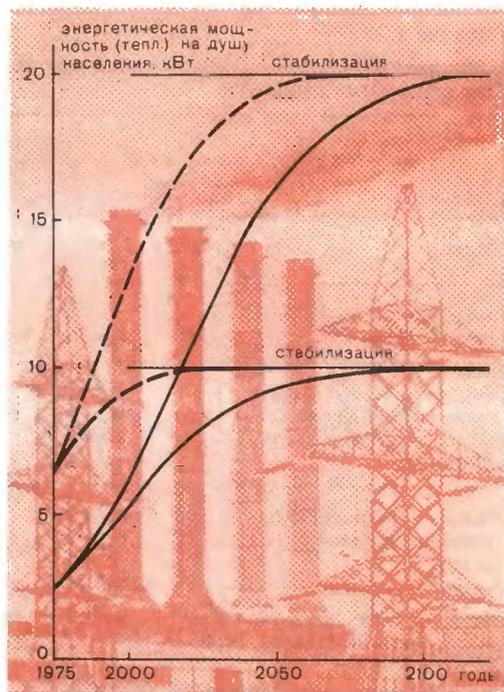


Прогноз роста численности населения в мире (верхняя кривая) и в СССР.

где $W_p(t)$ — удельное потребление энергии, т. е. годовое потребление первичной (тепловой) энергии на душу населе-

ния, t — время (годы), W_{st} — численное значение уровня стабилизации удельного потребления энергии, r и c — параметры. Эти параметры (r и c) определяются с помощью подгонки значений $W_p(t)$ к статистическим данным по росту удельного потребления энергии, который имел место до настоящего времени.

Важно отметить, что предлагаемый метод оценки роста потребностей в энергии не связан однозначным определением будущего (стационарного) уровня удельного потребления энергии. В этом методе



Прогноз роста энергетической мощности [тепловой] на душу населения в мире [пунктирные кривые] и в СССР [сплошные кривые]. Приведены два варианта стабилизации потребности в энергии: 10 и 20 кВт(тепл.) · год/чел.

величина асимптотического предела удельной энергетической мощности (W_{st}) играет роль свободного параметра. Его варьирование позволяет судить о масштабах предполагаемых потребностей в энергии и возможных источниках их удовлетворения на долгосрочную перспективу в зависимости от W_{st} . При этом учитываются запасы в рассматриваемых источниках энергии. Вот почему, используя такой подход, можно оценить эффективность текущей энергетической политики, в част-

¹ См.: А р а б - О г л ы Э. А. Демографические и экологические прогнозы. М.: Статистика, 1978, с. 128.

² Эта формула описывает кривую, называемую логистической функцией. Она имеет S-образную форму: при малых t — экспоненциально возрастает, а при больших t — асимптотически приближается к W_{st} (стабилизируется).

ности различных мер по ограничению или поощрению разработки того или иного источника энергии. Однако следует подчеркнуть, что предлагаемый метод, как и всякий формальный подход к реальным процессам, важен прежде всего с теоретической точки зрения.

В долгосрочных прогнозах мирового потребления энергии принимались во внимание два варианта. В одном из них стабилизация потребностей в энергии на душу населения происходит на уровне 20 кВт (тепл) · год на душу населения,

энергия на душу населения, чтобы повторно использовать ресурсы, опреснять воду, производить водород, пищевые продукты и т. д. Суммарное численное значение этой поправки оценено в 10 кВт · год на человека.

По-видимому, величина 20 кВт (тепл) · год/чел при расчете перспективной потребности в энергии является наивысшей оценкой для уровня стабилизации удельного потребления энергии³.

Но здесь надо иметь в виду следующее обстоятельство. Сегодня коэффи-

Таблица 1

Аналитические оценки роста мировой потребности в энергии (в единицах Q) (гипотетическая модель)*

Годы	Ближняя фаза		Средняя фаза				Отдаленная фаза (N — число лет, прошедших после 2100 г.)
	1975	2000	2020	2050	2075	2100	2100 + N
Численность населения, млрд чел.	3,946	6,407	8,800	11,031	11,900	12,257	12,257
Энергетическая мощность (тепловая) на душу населения**, кВт(тепл)	1,1 2,1	4,0 4,3	5,8 6,9	8,3 11,7	9,1 15,2	9,6 17,6	10 20
Годовое потребление энергии (тепловой)** Q/год	0,25 0,25	0,76 0,82	1,5 1,8	2,6 3,9	3,2 5,4	3,5 6,4	3,6 7,3
Интегральное потребление энергии (тепловой), ** Q	0,25 0,25	11,7 12,1	34,2 37,5	97,9 122,3	172,2 239,2	257,1 388,6	257,1 + 3,6 · N 388,6 + 7,3 · N

Примечание. * $1Q = 2,52 \cdot 10^{11}$ ккал = $2,93 \cdot 10^{11}$ кВт(тепл) · ч = $3,35 \cdot 10^8$ МВт(тепл) · год.

** Цифры верхней строки соответствуют варианту, при котором стабилизация потребностей в энергии происходит на уровне 10 кВт(тепл)/чел, а нижней — 20 кВт(тепл)/чел.

в другом — 10 кВт (тепл) · год/чел (см. табл. 1).

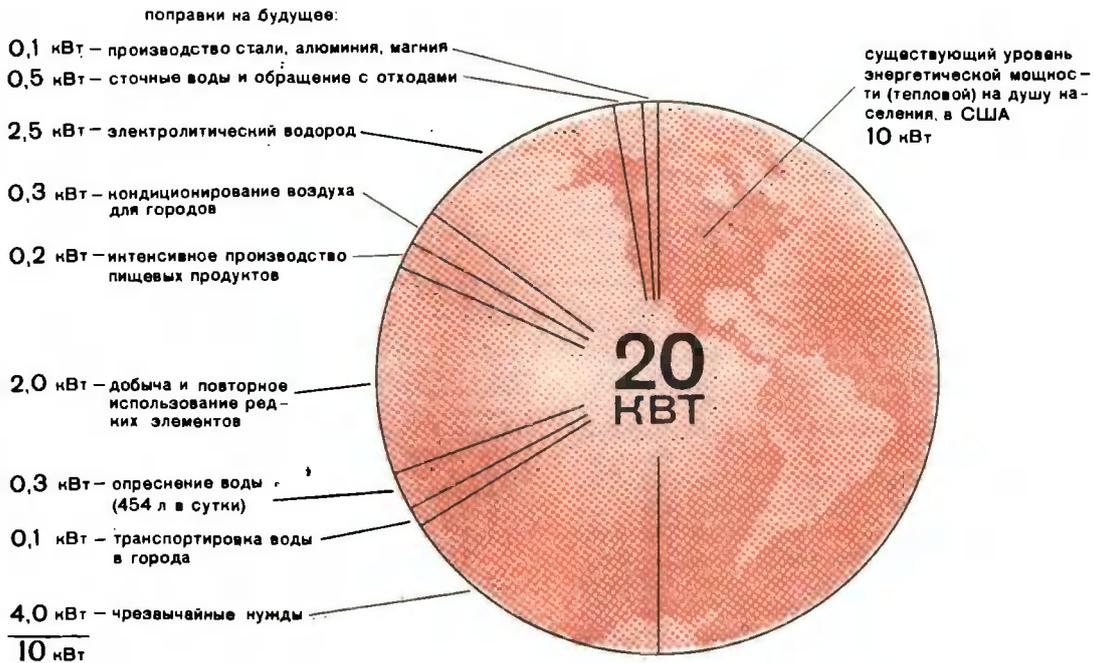
Цифра 20 кВт · год представляет собой сумму двух слагаемых. Первое слагаемое равно 10 кВт · год: это наивысший уровень потребления энергии на душу населения, достигнутый сегодня в мировой энергетике в развитых странах. Ему соответствует уровень развития энергетики США в 1975 г. Второе слагаемое введено, чтобы учесть поправки на будущее, когда численность населения мира значительно возрастет. Поскольку ресурсы Земли ограничены, для сохранения высокого уровня жизни потребуются дополнительная

циент полезного использования энерго-ресурсов меньше технически достижимого, а КПД энергетических установок ниже экономически оптимального. Поэтому, повысив КПД преобразования первичной энергии во вторичную (механическую,

³ Величина 20 кВт (тепл) · год/чел предложена в работах: Weinberg A. M., Hammond P. Global Effects of Increased Use of Energy. Geneva, 1971; Легасов В. А. и др. Атомно-водородная энергетика (прогноз развития). — В сб.: Вопросы атомной науки и техники. Сер. Атомно-водородная энергетика. М.: Препринт Института атомной энергии им. И. В. Курчатова, 1976, вып. 1

электрическую) и увеличив КПД потребления вторичной энергии, а также за счет экономии энергии можно обеспечить растущую потребность, оставляя уровень производства первичной энергии неизменным. С учетом приведенных соображений в рамках гипотетической модели и рассматривался другой вариант развития энергетики, в котором стабилизация удельного потребления энергии происходит на уровне $10 \text{ кВт(тепл)} \cdot \text{год}$ на душу населения. С большой степенью надежности можно утверждать, что уровень реаль-

потребности в энергии на период до 2020 г. было уделено специальной комиссией, образованной на X Мировой энергетической конференции (МИРЭК-Х). Сравнение этих оценок с полученными по гипотетической модели показывает, что они находятся в хорошем согласии друг с другом. Прогноз же после 2020 г., полученный с помощью гипотетической модели, следует рассматривать всего лишь как ориентировочный на период от 2020 до 2100 г. Он позволяет более глубоко исследовать процессы роста потребления



Прогнозируемая величина энергетической мощности (на душу населения), при которой наступает стабилизация потребностей в энергии $[20 \text{ кВт(тепл)} \cdot \text{год/чел}]$. Она складывается из наивысшего уровня потребления энергии на душу населения, достигнутого сегодня в развитых странах $[10 \text{ кВт(тепл)} \cdot \text{год/чел}]$, и поправок на будущее.

ной стабилизации будет находиться в рассматриваемом диапазоне от 10 до $20 \text{ кВт(тепл)} \cdot \text{год/чел}$.

Насколько же достоверен прогноз развития энергетики, полученный с помощью гипотетической модели? Значительное внимание оценкам перспективной

энергии и выявить тенденции такого роста. Этот прогноз не имеет прикладного значения, и в его задачу не входит получение практических результатов, связанных с планированием. С его помощью можно обоснованно судить о масштабах предполагаемых в этот период потребностей в энергии, о возможных источниках их удовлетворения с учетом запасов энергетических ресурсов.

И здесь, по-видимому, надо выделить несколько этапов. В простейшем случае, учитывая полученные результаты прогнозов по потреблению энергии, в развитии топливно-энергетического баланса мира

следует различать три фазы: ближнюю, среднюю и отдаленную.

Ближняя фаза относится к периоду до 2000 г. Средняя — от 2000 г. и до момента стабилизации потребностей в энергии, т. е. до 2100 г. Отдаленная фаза наступает после периода стабилизации энергетических потребностей: 2100 г. и далее.

ТРИ ФАЗЫ В РАЗВИТИИ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Почему ближняя фаза в развитии энергетики ограничивается именно 2000 г.? Причина в том, что программы по разработке новых источников энергии обладают большой инерционностью. Нужно решить серьезные технические и социально-экономические задачи, чтобы перейти к использованию новых источников энергии. Это потребует, по-видимому, от 15 до 20 лет, что и определяет диапазон ближней фазы. В течение этого периода имеется возможность для сооружения небольшого количества полномасштабных промышленных установок по производству энергии с помощью альтернативных источников. Однако трудно надеяться, что до 2000 г. их доля в энергетическом балансе приобретет сколько-нибудь существенное значение.

Эти соображения и диктуют стратегию развития энергетики в течение ближней фазы. В период до 2000 г. потребность в энергии может быть удовлетворена только за счет источников, широкая эксплуатация которых возможна и экономически оправдана при существующем уровне развития науки и техники. Отметим, что к таким источникам в настоящее время относятся энергетика на органическом топливе, гидроэнергетика и ядерная энергетика, использующая реакторы на тепловых нейтронах. В соответствии с расчетами по гипотетической модели (см. табл. 1) суммарные потребности в энергии в мире до 2000 г. составят около 12 Q, а ежегодное ее производство к концу ближней фазы в 2000 г. может достигнуть 0,8 Q / год⁴. (Для сравнения укажем, что в 1975 г. ми-

ровые потребности в энергии составили 0,25Q / год.)

Время, необходимое для внедрения в топливно-энергетический баланс альтернативных источников энергии, определяет начало средней фазы в развитии энергетики. С этого момента, т. е. примерно с 2000 г., можно будет ускорить темпы строительства установок по производству энергии с помощью новых источников и начать их широкую эксплуатацию⁵. Роль альтернативных источников энергии могут принять на себя ядерная энергетика и возобновляемые энергоресурсы (солнечная энергия, энергия ветра, морских приливов и отливов, морских и океанских волн, тепла морей и океанов, геотермальная энергия). В течение средней фазы необходимо оптимизировать топливно-энергетический баланс. При этом следует учитывать социально-экономические факторы, наличие ресурсов того или иного источника энергии и их воздействие на окружающую среду. В соответствии с расчетами по гипотетической модели (см. табл. 1) к моменту завершения этой фазы суммарные потребности (от 1975 до 2100 г.) составят 260—390Q энергии, а ежегодные возрастут к 2100 г. до 3,5—6,4Q / год. Средняя фаза должна быть использована для безболезненного плавного перехода в отдаленную фазу развития энергетики.

Чем же будет характеризоваться отдаленная фаза развития энергетики? Здесь, по-видимому, можно выделить три основных момента.

Во-первых, в этот период будет определен фактический уровень стабилизации энергетической мощности на душу населения. (В соответствии с гипотетической моделью он находится в диапазоне от 10 до 20 кВт(тепл) · год/чел.) Одновременно будут установлены допустимые пределы безопасного воздействия энергетики на окружающую среду, учтены социально-экономические факторы и т. д.

Во-вторых, благодаря стабилизации численности населения происходит ста-

⁴ 1Q = 0,25 · 10¹⁸ ккал = 3,35 · 10¹⁰ кВт (тепл) · год — часто используемая в прогностических исследованиях единица энергии. Энергии в 1Q достаточно, например, чтобы нагреть до кипения всю воду Аральского моря. 1Q энергии выделяется при сжигании 36 млрд т условного топлива.

⁵ Период завоевания энергетического рынка новыми видами источников энергии (покрытие 50% топливно-энергетического баланса), например, такими как нефть, газ, для СССР и США составлял 50—100 лет. Следует добавить, что в этот период отсутствовали экологический кризис и дефицит сырья. В условиях обострения экологического кризиса и возрастания дефицита сырья, соответствующих сегодняшней ситуации в мире, этот период будет иметь тенденцию к уменьшению.

билизация ежегодных потребностей в энергии для мира в целом на уровне, соответствующем установившимся пределам и ограничениям. Согласно гипотетической модели (см. табл. 1) такой уровень стабилизации ограничен диапазоном от 3,6 до 7,3Q /год.

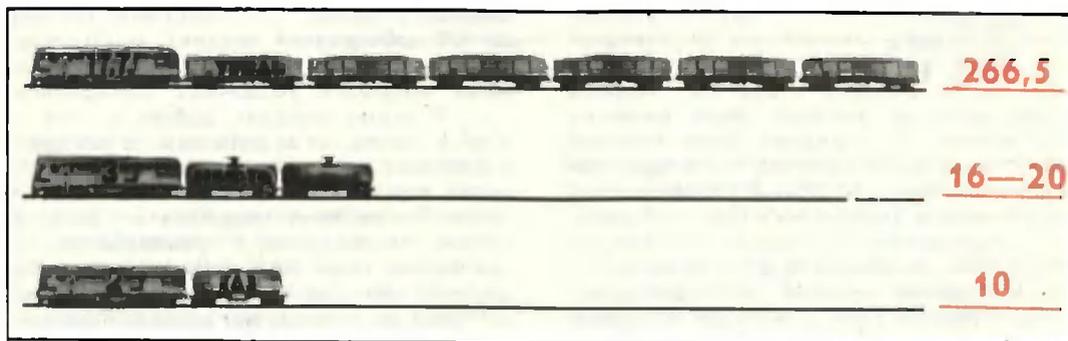
В-третьих, будет оптимизирован топливно-энергетический баланс мира, т. е. осуществлены и вовлечены в энергобаланс один или несколько из немногих существующих вариантов крупномасштабного снабжения энергией⁶.

на конкретные даты наступления той или иной фазы.

Попытаемся определить возможную долю различных источников энергии в топливно-энергетическом балансе мира на различных фазах развития энергетики.

ЭНЕРГЕТИКА НА ОРГАНИЧЕСКОМ ТОПЛИВЕ

Основным источником энергии на современном этапе является органическое топливо. Согласно статистическому докла-



Мировые запасы органического топлива (в единицах Q). Черные цифры означают доказанные запасы топлива (достоверные), цветные — геологические запасы. Оценка доказанных запасов нефти (включая конденсатные жидкости) и природного газа дана без учета СССР. Цифры по геологическим запасам нефти даны с учетом месторождений, которые будут открыты в полярных или других труднодоступных районах на континентах, в глубоководных (с глубиной более 200 м) акваториях, а также месторождений горючих сланцев, битуминозных песков и пр.

Конечно, указанные выше границы той или иной фазы лишь приближительны, причем фазы заходят одна за другую и не совсем четко определены. Кроме того, наступление каждой из фаз в развитии энергетики для разных стран будет различно во времени. Так, совершенно очевидно, что для технически развитых стран отдаленная фаза наступит значительно раньше, чем для мира в целом. Поэтому при таком поэтапном подходе основной упор делается на качественные характеристики и масштабы энергетики на данном периоде, а не

ду ООН за 1975 г., на долю природного газа в мировом топливно-энергетическом балансе приходится 19,4%, твердого топлива — 30,9% и жидкого — 47,2%.

В настоящее время приводятся и обсуждаются весьма различные цифры по ресурсам органического топлива. Причиной этих противоречий является тот простой факт, что в отдельных странах практикуются неодинаковые методы подсчета ресурсов, группировок ресурсов по категориям изученности, возможностям извлечения и т. д. На сегодняшний день, по-видимому, наиболее обоснованными являются данные, полученные экспертами МИРЭК-Х. Согласно этим данным, суммарные запасы органического топлива оцениваются в диапазоне от 22,7Q (разведанные месторождения) до 296,5Q (геологические запасы)⁷. При этом более 80% приходится на долю угля.

Сравнивая величину этих запасов с мировой потребностью в энергии, оцененной с помощью гипотетической модели (см. табл. 1), нетрудно сделать вывод, что истощение разведанных запасов органи-

⁶ В соответствии с расчетами (см. табл. 1) под крупномасштабным снабжением энергией следует понимать возможность производить несколько единиц Q/год (до 8Q/год) непрерывно на протяжении тысячи лет или гораздо больше.

⁷ Подробнее об этом см.: Михаэлис Г. Долгосрочные прогнозы энергоснабжения. — Атомная техника за рубежом, 1978, № 9, с. 9.

ческого топлива произойдет задолго до стабилизации потребления энергии. Если же ориентироваться на геологические запасы, ресурсы органического топлива будут исчерпаны примерно к моменту достижения стабилизации потребления энергии, т. е. к 2100 г.

Отсюда со всей очевидностью следует очень важный вывод: потенциальные возможности энергетики на органическом топливе (с учетом предполагаемых потребностей в энергии на долгосрочную перспективу) невелики. Из-за ограниченности ресурсов энергетику на органическом топливе нельзя отнести к крупномасштабному источнику, способному производить на протяжении столетий энергию несколько Q в год. Ее ресурсы позволяют покрыть потребности на ближней фазе развития и обеспечить на средней фазе плавный «безболезненный» переход к альтернативным источникам, способным удовлетворить потребности в энергии на отдельной фазе.

Ограниченность запасов органического топлива, особенно нефти и природного газа,— главная причина наблюдающейся сегодня резкой переориентации мирового топливно-энергетического баланса.

По данным экспертов МИРЭК-Х, в начале XXI в. добыча нефти и природного газа начнет сокращаться. Их доля в топливно-энергетическом балансе снизится с 66,6 до 20% к 2020 г.⁸ Эти виды органического топлива будут использоваться главным образом в качестве сырья для нефтехимической промышленности и, возможно, для производства топлива для транспорта.

Уголь, в отличие от нефти и природного газа, еще длительное время может сохранить свое положение в энергетическом балансе, и в 2020 г. его доля, очевидно, останется на сегодняшнем уровне, равном ~ 30%. Такое широкое использование объясняется существованием относительно крупных запасов (см. табл. 2). Однако и здесь имеются факторы, ограничивающие возможные перспективы использования угля. Это неравномерное географическое распределение запасов, большие капиталовложения и затраты времени на освоение новых месторождений, а также проблемы защиты окружающей среды.

Известно, что тепловые электростанции выбрасывают в атмосферу такие вредные вещества, как сернистый газ

SO_2 , окислы азота NO_x , окись углерода CO и бензопирен. ТЭС, работающая на угле, выбрасывает сернистого газа почти в два раза больше, чем работающая на нефти, и в 100 раз больше, чем ТЭС, работающая на газе (конечно, при условии одинаковой мощности). В то же время, сернистый газ относится к одному из самых вредных видов загрязнения атмосферы.

Согласно недавним исследованиям, проведенным по инициативе Национальной Академии наук США, выделение сернистого газа только одной ТЭС, работающей на угле, мощностью 1 ГВт(эл) вызывает ежегодно около 25 смертных случаев, 60 000 заболеваний верхних дыхательных путей и создает убыток в 12 млн долл. из-за коррозии различных материалов⁹.

К этому следует добавить, что ни у нас в стране, ни за рубежом не внедрены в массовом порядке устройства для очистки от серы самих топлив или отходящих газов. Более того, несмотря на большой объем исследований и разработок (за последние годы предложены и изучены десятки методов очистки газов и топлив от серы), до сих пор нет дешевых методов борьбы с этими выбросами. Таким образом, замещение в топливно-энергетическом балансе нефти и газа углем и его широкое использование приведет к значительному ухудшению состояния окружающей среды.

Кроме токсичных газов, работающие на угле электростанции образуют также твердые отходы главным образом в виде мельчайших частичек пыли. В развитых странах эта мелкодисперсная пыль считается сегодня вторым по опасности после сернистого газа агентом загрязнения воздуха. Всего ТЭС дают около одной шестой всех пылевых загрязнений, создаваемых в результате деятельности человека.

Обычно считается, что выбросы ТЭС опасны для человека, поскольку они приводят к болезням сердца, эмфиземе, хроническому бронхиту. Однако в последнее время установлено, что некоторые из продуктов сгорания угля могут вызывать и раковые заболевания. Так, типичным особо канцерогенным соединением, образующимся при горении угля, является бензопирен. Конечно, это не единственное вещество подобного рода. Поэтому необ-

⁹ Подробнее об этом см.: Cohen B. L. The disposal of radioactive waste from fission reactors. — Scientific American, 1977, v. 263, № 6, p. 21. (см. также перевод: УФН, 1978, т. 126, вып. 1, с. 101).

⁸ Там же.

Таблица 2

Мировые топливные ресурсы ядерной энергетики

Принцип производства энергии	Вид ресурсов	Ресурсы (в энергетическом эквиваленте), Q
Реакторы на тепловых нейтронах	уран при затратах на извлечение: до 130 долл/кг урана	40
Реакторы-размножители	уран при затратах на извлечение: до 130 долл/кг урана	1000
	до 295 долл/кг урана	2500
	уран в океане	340 000
Термоядерные реакторы	уран в земной коре на глубине до 500 м	670 000
	литий (как источник трития) при затратах на извлечение до 60 долл/кг природного лития	1900
	литий в океане	2 750 000
	дейтерий в океане	4 000 000 000

ходимо вычислить суммарную опасность заболевания раком от воздействия всех канцерогенных продуктов, образующихся в процессе горения угля на тепловых электростанциях. Для этого использовались данные по Англии и Уэльсу за период 1950—1959 гг.¹⁰ Оказалось, если потребление угля одним человеком возрастает в среднем за год на 1 т, это увеличивает смертность от рака легких на 142 случая на миллион населения в год. (Отметим, что рост потребления, равный 1 т, соответствует возрастанию удельного потребления энергии на 0,93; кВт(тепл) · год.)

Таким образом, использовать уголь в качестве основного источника энергии на ближней и средней фазах развития энергетики невозможно. И объясняется это не ограниченностью его потенциальных запасов, а скорее соображениями технико-экономического и экологического характера.

В силу указанных выше причин, согласно оценке экспертов МИРЭК-Х, к 2020 г. органическое топливо сможет удовлетворить немногим более половины мировой потребности в энергоресурсах.

Остальную половину необходимо обеспечить за счет развития других источников энергии.

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

К ним относятся: реки (гидроэнергетика), морские приливы и отливы, тепло

Земли (геотермальная энергия), Солнце (непосредственно энергия солнечной радиации или энергия ветра, морских волн, тепла морей и океанов).

В настоящее время из возобновляемых источников только гидроэнергоресурсы принимаются во внимание при разработке топливно-энергетического баланса. Однако на их долю приходится незначительная часть ~ 1,4% общего производства энергии в мире. Мировой технический потенциал (возможное использование при современном состоянии техники, но без учета экономики) гидроэнергоресурсов соответствует производству энергии, равному 0,065 Q в год, что составит не более нескольких процентов в топливно-энергетическом балансе.

Поэтому даже полное использование гидроэнергетических ресурсов не позволяет покрыть сколько-нибудь значительную часть намечающегося на начало следующего столетия дефицита в энергии, связанного с истощением запасов нефти и природного газа. Необходимо добавить, что гидроэнергетика существенно влияет на экологическую обстановку в районе расположения ГЭС. Отсюда ясно, что гидроэнергетика в мировом топливно-энергетическом балансе может играть только вспомогательную роль.

В отличие от гидроэнергоресурсов все остальные возобновляемые источники сегодня вообще не играют сколько-нибудь заметной роли. На пути их широкого использования решены далеко не все технические и научные проблемы, и их применение в широких масштабах возможно лишь после 2000 г., т. е. на средней фазе развития энергетики. В соответствии

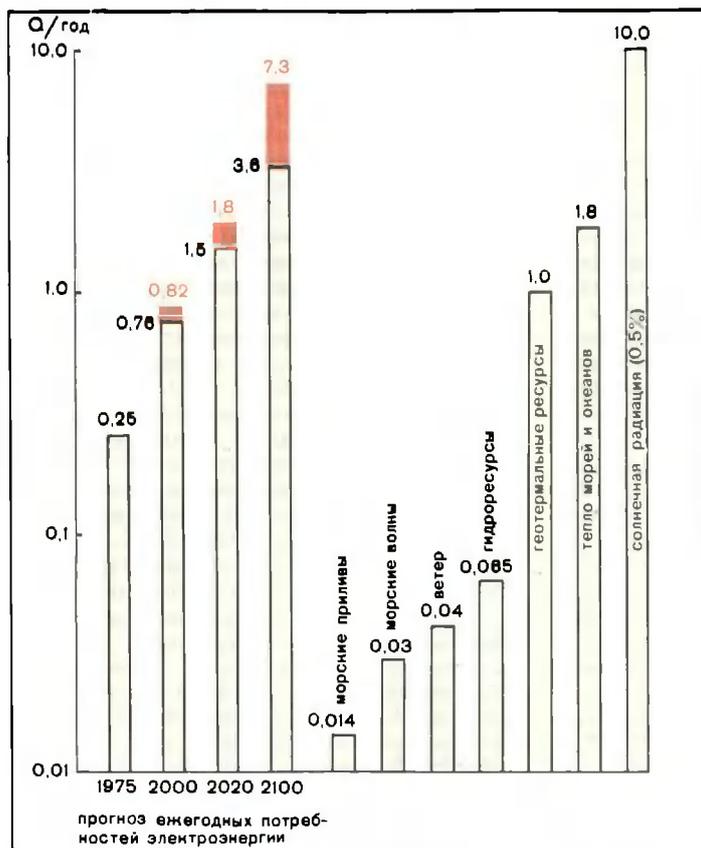
¹⁰ Подробнее об этом см.: Вохра К. Г. Проблемы радиационной защиты и анализ опасности в атомный век.— Бюллетень МАГАТЭ, 1978, т. 20, № 5, с. 47.

с этим оценку их потенциальных возможностей следует проводить исходя из потребностей в энергии в будущем (после 2000 г.).

Технический потенциал таких возобновляемых источников энергии, как энергия ветра, морских приливов и отливов, морских волн (фактически, это аккумулированная солнечная энергия) представляется крайне незначительным в свете глобальных потребностей в энергии на перспективу. Зато большими потенциальными возможностями обладают энергетика,

производство 1Q энергии, а использование тепла морей и океанов ~ 2Q. Однако вряд ли такие количества энергии можно будет когда-нибудь использовать для покрытия энергобаланса.

Действительно, чтобы получить за счет тепла морей и океанов ежегодно 2Q энергии, необходимо отвести под установки для преобразования этого тепла области океана, расположенные между 20° с. ш. и 20° ю. ш., т. е. покрыть энергоустановками практически все тропические и субтропические моря. Причем прямым



Сравнения ежегодных потребностей в энергии (прогнозируемых) с потенциальными возможностями возобновляемых источников энергии. Очевидно, что только солнечная энергетика может обеспечить все потребности мировой энергетики. Однако ряд принципиальных особенностей, которыми обладает солнечная радиация, ограничивает ее использование в качестве крупномасштабного (несколько Q) источника энергии. Цветом показано расхождение в оценках, соответствующее двум вариантам стабилизации потребностей в энергии (10 и 20 кВт(тепл) · год/чел).

использующая разность температур поверхностных и глубинных слоев морей и океанов (тепло морей и океанов),¹¹ и геотермальная энергетика.

Технический потенциал геотермальной энергетики соответствует ежегодному

следствием такой эксплуатации станет понижение температуры верхних слоев тропических морей на 1°, и, соответственно, понижение среднегодовой температуры тропиков. В то же время известно, что температурный режим в океанах, особенно в тропических морях, значительно влияет на климат в глобальном масштабе.

Следовательно, общая мощность энергетики, использующей тепло морей и океанов, должна в значительной степени

¹¹ Подробнее об использовании энергии океана см.: Акуличев В. А. Океан и энергетика.— Природа, 1979, № 8, с. 29.

определяться из условия минимального нарушения теплового режима на поверхности океанов. Это ограничение, по-видимому, в сотни раз уменьшит технический потенциал данного возобновляемого источника энергии.

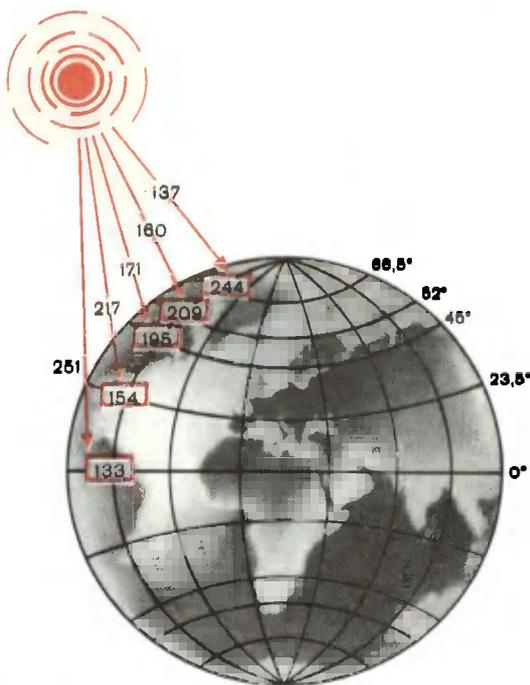
Аналогичная ситуация имеет место и в проблеме практического применения ресурсов геотермальной энергетики. Оценка, соответствующая мощности $1Q$ в год, основана на предположении, что для этих целей используется максимально допустимая с экологической точки зрения доля тепловой энергии термальных вод, находящихся в пятикилометровой толще Земли в пределах всей суши¹². Таким образом, практическая реализация потенциальных возможностей геотермальных энергетических установок связана с отчуждением значительной территории. Уже только поэтому нельзя рассчитывать, что когда-либо удастся использовать даже небольшую долю технического потенциала геотермальных ресурсов.

Кроме того, крайне усложняют вопрос минеральные примеси и, в первую очередь, большое количество солей, а также газообразные соединения ртути, сероводорода, аммиака, двуокиси и окиси углерода, радиоактивные элементы (^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{206}Pb), которые будут поступать из недр Земли (причем в высоких концентрациях) через скважины с потоками термальных вод и пара. Экологические последствия таких выбросов

представляют серьезную опасность для окружающей среды.

Наконец, необходимо отметить, что большинство месторождений термальных вод относятся к низкотемпературным. Этот фактор ограничивает сферу их использования главным образом рамками коммунально-бытовых нужд. В настоящее время экономически оправданна разработка лишь отдельных источников геотермальной энергии, расположенных в районах современного вулканизма.

Таким образом, как и в случае с ис-



Интенсивность солнечной радиации [в среднем в течение года] и площадь поверхности Земли, на которую ежегодно падает поток солнечной энергии, равный $1Q$, на различных широтах для чистой атмосферы. Цифры над стрелками — интенсивность в $\text{Вт}/\text{м}^2$, цифры в прямоугольниках — площадь поверхности в тыс. км^2 .

¹² Количественное определение максимально допустимой с экологической точки зрения доли тепловой энергии термальных вод, которую можно использовать для целей геотермальной энергетики, основано на условии, что при таком использовании не происходит нарушения водного баланса подземных вод и теплового баланса недр Земли. В статье рассматриваются потенциальные возможности геотермальной энергетики, основанной на использовании подземных термальных вод. Однако, если принять в расчет всю земную кору под континентами, например, на глубину до 10 км, то общее количество геотермальной энергии, заключенной в этом слое сухих нагретых пород, представляет огромную величину, равную $5 \cdot 10^5 Q$. Однако подобная оценка имеет сугубо теоретический смысл. На современном уровне развития науки и техники невозможно использовать эту форму геотермальной энергии. Высокая степень рассеянности в земной коре не позволяет использовать ее как крупномасштабный источник энергии (несколько Q в год). И трудно представить, что такая возможность появится в обозримом будущем, хотя некоторые попытки в этом направлении предпринимаются.

пользованием тепла морей и океанов, фактическая мощность геотермальной энергетики, достижимая даже в отдаленном будущем, оказывается в сотни раз меньшей в сравнении с техническим потенциалом ее ресурсов ($1Q$ в год).

Итак, суммарный технический потенциал таких возобновляемых источников энергии, как гидроэнергия, энергия морских приливов и отливов, волн, ветра, тепловая

энергия океана и недр Земли соответствует источнику энергии мощностью $\sim 3Q$ в год. Однако экологические, экономические и технические причины ограничивают этот показатель, снижая его до величины $\sim 0,1Q$ в год. Это означает, что перечисленные выше возобновляемые источники энергии не только не могут играть в будущем роль крупномасштабного источника энергии (мощность несколько Q в год), но даже не в состоянии покрыть намечающийся на начало следующего столетия дефицит

в топливно-энергетическом балансе мира¹³.

СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

В последнее время интерес к проблеме использования солнечной энергии резко возрос. И хотя этот источник также относится к возобновляемым, внимание, уделяемое ему во всем мире, заставляет нас рассмотреть его возможности в отдельной главе.

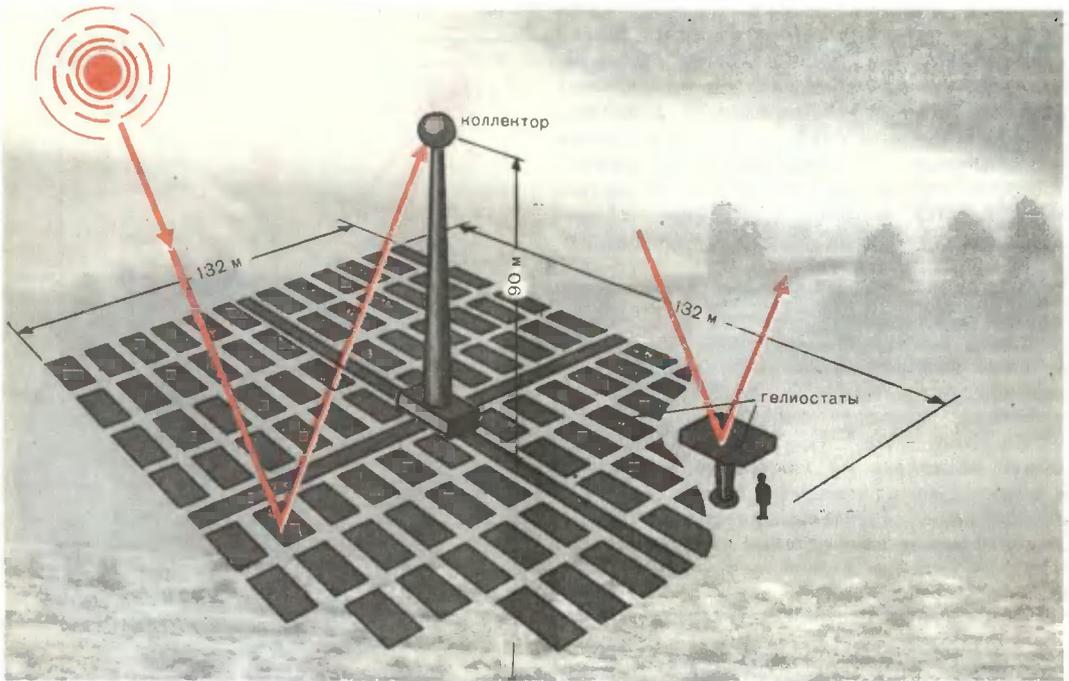


Схема устройства солнечной тепловой электростанции (СТЭС). Гелиостаты (зеркальные модули) отслеживают положение Солнца и отражают его лучи на коллектор солнечной радиации. Последний устанавливается в верхней части башни и представляет собой систему теплообменников с протекающим через них теплоносителем [водой или низкокипящей жидкостью]. С помощью гелиостатов солнечная радиация фокусируется на коллектор и нагревает теплоноситель. Дальнейшая передача тепла от коллектора к электрогенератору происходит по схеме, используемой на обычной ТЭС. С современной технической точки зрения этот метод «собиранья» солнечной радиации, т. е. повышения ее интенсивности в сотни раз, наиболее перспективен. На рисунке указаны некоторые параметры опытной промышленной СТЭС «пиковой» мощностью 2 МВт[эл], проект которой разработан во Франции. Ее намечено построить в Таргассоне и подключить к Национальной энергосистеме в 1981 г.

Потенциальные возможности энергетики, использующей непосредственно солнечную радиацию, чрезвычайно велики. Общее количество солнечной энергии, проходящей через атмосферу и достигающей поверхности Земли, оценивается в 2000 Q в год. Использование лишь 0,0125% этой величины могло бы обеспечить все сегодняшние потребности мировой энергетики.

¹³ Конечно, такие источники энергии должны использоваться всюду, где это технически возможно и экономически оправданно. Но их роль в топливно-энергетическом балансе не выходит за пределы добавочных вспомогательных ресурсов местного, а в некоторых отдельных случаях и регионального значения.

ки, а 0,5% — полностью покрыть потребности и на перспективу.

К сожалению, вряд ли когда-нибудь эти огромные потенциальные ресурсы удастся реализовать в больших масштабах.

Одним из наиболее серьезных препятствий является здесь низкая интенсивность солнечной радиации. Даже при наилучших атмосферных условиях (южных широтах и чистом небе) интенсивность солнечной радиации в среднем в течение года составляет не более 250 Вт/м². Поэтому, чтобы коллекторы солнечной радиации «собирали» энергию 1 Q в год, нужно разместить их на территории площадью не менее 130 тыс. км²!

Необходимость использовать коллекторы огромных размеров, кроме того, влечет за собой значительный расход материальных ресурсов. Простейший солнечный коллектор представляет собой зачерненный металлический (как правило, алюминиевый) лист, внутри которого располагаются трубы с циркулирующей в них жидкостью. Нагретая за счет солнечной энергии, поглощенной коллектором, жидкость поступает для непосредственного использования. Согласно расчетам, изготовление солнечных коллекторов площадью 1 км² требует ~ 10 тыс. т алюминия (напомним, что этот металл весьма подвержен коррозии)¹⁴. Доказанные же на сегодня мировые запасы этого металла оцениваются в 1,17 млн т. Следовательно, если их даже полностью использовать только для целей солнечной энергетики, то можно изготовить коллекторы площадью 117 тыс. км². Поток солнечной энергии, поступающий на поверхность Земли с такой площадью, не превышает 1 Q в год.

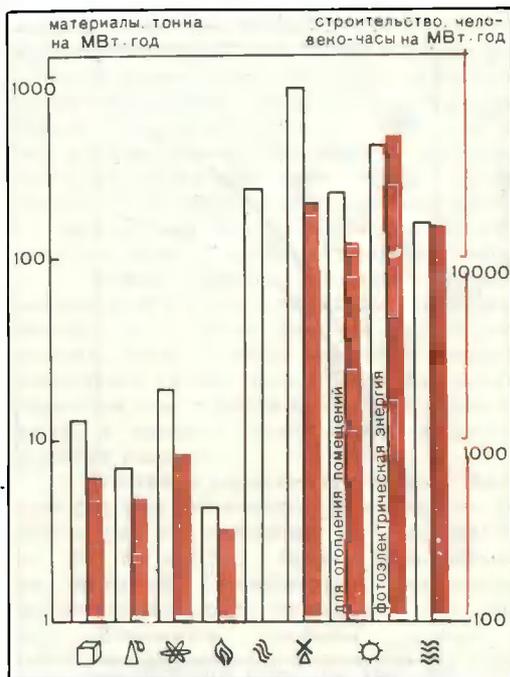
Уже из этого ясно, что существуют важные факторы, ограничивающие мощность глобальной солнечной энергетики.

Предположим, что в будущем для изготовления коллекторов станет возможным применять не только алюминий, но и другие материалы. Изменится ли ситуация в этом случае?

Будем исходить из того, что на отдаленной фазе развития энергетики (после 2100 г.) все мировые потребности в энергии удовлетворяются за счет солнечной энергии (это, конечно, весьма грубая модель). В рамках гипотетической модели можно оценить, что в этом случае потре-

буется «собрать» солнечную энергию на площади от 1 до 3 млн км². В то же время, общая площадь пахотных земель в мире составляет сегодня 13 млн км².

Здесь же следует сказать об ошибочности весьма распространенного утверждения. Обычно считается, что проблему земельных ресурсов можно решить, если использовать огромные зоны пустынь или разместить солнечные энергетические установки в космическом пространстве. Ошибка заключается в том, что во внимание принимается только конечная стадия энерге-



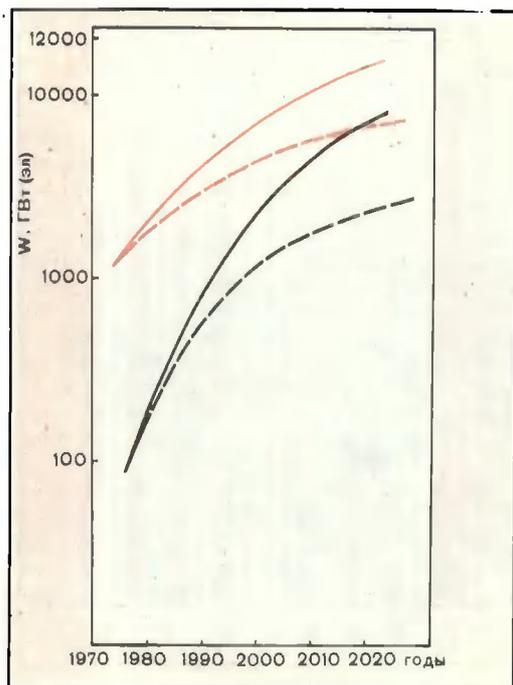
Количество материалов и число человеко-часов (показано цветом), требуемых на выработку единицы энергии [1 МВт(эл) · год] в различных видах энергетики [в условиях Канады]. Очевидно, что использование возобновляемых источников энергии связано с существенно большими материальными и трудовыми затратами.

-  уголь
-  нефть
-  ядерная энергия
-  природный газ
-  гидроэнергетическая энергия
-  энергия ветра
-  солнечная энергия
-  тепло морей и океанов

¹⁴ Уделл С. Солнечная энергия и другие альтернативные источники энергии. М.: Знание, 1980, с. 17.

тического цикла и игнорируются все ей предшествующие, т. е. добыча сырья, его обогащение, получение материалов, изготовление коллекторов и необходимой для солнечной энергетики аппаратуры, транспортные перевозки. Соответствующие этим стадиям предприятия (рудники, промышленные предприятия) должны находиться в традиционных горнодобывающих и промышленных районах, что потребует весьма значительных земельных ресурсов.

При этом надо учитывать второй принципиальный момент в данной проблеме.



Прогнозируемые потребности [W] в электроэнергию (показано цветом) и прогнозируемый рост электрических мощностей ядерной энергетики с реакторами на тепловых нейтронах. Сплошная линия соответствует максимальному прогнозу, пунктирная — минимальному. При планируемых темпах развития ядерной энергетики запасы для реакторов на тепловых нейтронах будут исчерпаны уже в первых десятилетиях будущего столетия. Очевидно, что ядерная энергетика с реакторами на тепловых нейтронах при указанных ресурсах топлива в принципе не может обеспечить создание крупной мировой энергетики. Выход из этой ситуации — в использовании АЭС с реакторами-размножителями.

Уже говорилось, что солнечная энергетика относится к наиболее материалоемким видам производства энергии. Согласно расчетам, выполненным Контрольным советом по атомной энергии Канады (основной регулирующей орган по вопросам ядерной энергетики в этой стране), расход материалов на строительство солнечных энергетических установок, «собирающих» энергию 1 Q в год, составит от 2 до 3 млрд т¹⁵. Следовательно, использование от 8 до 16 Q в год солнечной радиации для покрытия мирового топливно-энергетического баланса на отдаленной фазе потребует ежегодного расхода материалов от 16 до 48 млрд т! Для сравнения укажем, что сейчас в мире ежегодно добывается 4 млрд т нефти, около 2 млрд т угля, извлекается почти 20 млрд т горной массы в виде руды и сопровождающих горных пород.

Из этого сравнения можно сделать следующий вывод. Крупномасштабное использование солнечной энергии влечет за собой гигантское увеличение потребности в материалах, а, следовательно, в трудовых ресурсах, которые должны заниматься добычей сырья, его обогащением, получением материалов, изготовлением гелиостатов, коллекторов и другой аппаратуры, их перевозкой. Подсчеты показывают, что для производства 1 МВт (эл) · год энергии в солнечной энергетике требуется затратить от 10 000 до 40 000 человеко-часов. В традиционной энергетике на органическом топливе этот показатель составляет 200—500 человеко-часов.

В настоящее время происходит стремительное истощение запасов различных видов полезных ископаемых с одновременным возрастанием стоимости их добычи, резко увеличивается стоимость земли. Вместе с тем растет дефицит трудовых ресурсов. С течением времени эти проблемы будут приобретать все большую остроту. Таким образом, перечисленные факторы являются серьезным барьером на пути развития солнечной энергетике, по крайней мере, в качестве крупномасштабного источника энергии мощностью несколько Q в год.

Наконец, широко бытующее утверждение об экологической «чистоте» солнечной энергетике является очевидным заблуждением. В процессе добычи огромного

¹⁵ Risk of energy production. Ottawa: Atomic Energy Control Board, 1978, № AECB-1119.

количества сырья для солнечной энергетики, его последующего обогащения, изготовления конечного продукта и т. д. будет происходить существенное загрязнение окружающей среды токсичными соединениями.

Отметим здесь же, что размещение солнечных энергетических установок в космосе, по-видимому, еще в большей степени усложнит решение проблемы экологической безопасности. В этом случае передача энергии на Землю может осуществляться только в виде микроволнового излучения, которое не безопасно для живых организмов, в том числе и для человека.

Подводя итоги этой главы, надо отметить и такие существенные недостатки солнечной радиации, как периодичность поступления энергии в течение года и суток, а также неравномерность распределения тепла по географическим широтам. Поэтому перед специалистами стоит серьезная проблема, связанная с разработкой способов накопления значительных запасов энергии (в сезоны максимального поступления солнечной радиации) и длительного ее хранения (для использования в периоды уменьшения поступления). В этой проблеме, особенно если речь идет о крупномасштабном развитии солнечной энергетики, имеется ряд серьезных нерешенных вопросов как технического, так и научного характера¹⁶.

ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ЕЕ РЕСУРСЫ

Итак, детальный учет всех рассмотренных выше факторов позволил экспертам МИРЭК-Х сделать вывод, что к 2020 г. доля возобновляемых источников энергии в мировом топливно-энергетическом балансе может составлять не более 13%.

¹⁶ В настоящее время в различных лабораториях мира проводятся интересные исследования по преобразованию солнечной энергии с помощью фотобиологических реакций. В этом случае зеленые растения в процессе фотосинтеза «запасают» солнечную энергию посредством получения более устойчивых химических соединений. При необходимости эту энергию можно реализовать в виде тепла, выделяемого при сжигании таких веществ. Однако КПД преобразования солнечной энергии, например, в электрическую, через промежуточную стадию получения растительного вещества очень мал по сравнению с КПД других методов преобразования энергии, рассмотренных в статье. Кроме того, не следует думать, что фотобиологические системы являются дешевыми. Здесь необходимы существенные капиталовложения.

При перечислении альтернативных источников энергии, которые необходимо внедрять в энергетику, мы говорили о ядерной энергетике. Каковы же ее возможности?

Имеются два метода «извлечения» ядерной энергии из атомных ядер.

Один из них, промышленная реализация которого уже началась, основан на использовании энергии, выделяющейся в процессе цепной реакции деления тяжелых ядер урана под действием нейтронов.

Другой метод «извлечения» ядерной энергии, реализация которого находится в стадии научных разработок, основан на использовании энергии, выделяющейся при слиянии легких ядер. Этот метод получил название термоядерного синтеза. В настоящее время наиболее близок к практическому осуществлению управляемый термоядерный синтез ядер дейтерия (D) с ядрами трития (T). Более отдаленной представляется перспектива, если удастся осуществить слияние друг с другом ядер дейтерия.

Теперь оценим, какими ресурсами располагает ядерная энергетика. Естественно, что в первую очередь необходимо оценить запасы урана, поскольку ядерная энергетика сегодняшнего дня развивается только за счет строительства АЭС с реакторами, в которых осуществляется цепная ядерная реакция.

Для урана характерна довольно большая распространенность: его среднее содержание в литосфере составляет $\sim 3 \cdot 10^{-4}$ мас.%. Однако экономически выгодно разрабатывать месторождения, содержащие не менее 0,1% урана. Стоимость добычи урана из таких месторождений составляет 80 долл. за 1 кг урана. Таким образом, к извлекаемым относятся запасы, в 1000 раз более богатые ураном, чем его среднее содержание. По последним данным, приведенным на Генеральной конференции МАГАТЭ в 1980 г., запасы урана со стоимостью извлечения до 80 долл./кг составляют 3330 тыс. т. Величина этих запасов в энергетическом эквиваленте зависит от типа ядерного реактора, в котором будет использоваться урановое топливо. В настоящее время ядерная энергетика базируется на строительстве АЭС с реакторами на тепловых нейтронах. К сожалению, эти реакторы характеризуются крайне неэффективным использованием запасов природного урана.

Реакторы на тепловых нейтронах «сжигают» $\sim 1,5\%$ природного урана. Поскольку в процессе деления 1 кг урана выделяет 18,8 млрд ккал, то в реакторах на

тепловых нейтронах 1 т природного урана позволяет получить 282 млрд ккал, что составляет $\sim 11,2 \cdot 10^7$ Q. Следовательно, запасы со стоимостью извлечения до 80 долл/кг (экономически эффективные, по современным представлениям) соответствуют энергоисточнику емкости 3,7 Q. Конечно, эти данные по запасам урана занижены из-за слабой изученности многих районов. Дальнейшая разведка увеличит ресурсы ядерной энергетики с реакторами на тепловых нейтронах.

Однако, согласно расчетам, в лучшем случае можно надеяться, что величина этих ресурсов в энергетическом эквиваленте возрастет лишь до 20 Q. Это означает, что при планируемых темпах развития ядерной энергетики достоверные запасы будут исчерпаны уже к концу нашего столетия, а суммарные (достоверные и дополнительные) — в первом десятилетии следующего столетия.

Таким образом, ядерная энергетика с реакторами на тепловых нейтронах при указанных ресурсах топлива в принципе не может обеспечить создание крупной мировой энергетики. Выход из этого положения можно найти на пути использования АЭС с реакторами-размножителями. С их внедрением эффективное использование природного урана может достигнуть 30—40%¹⁷. Очевидно, что в этом случае, не повышая стоимости производства энергии, можно будет использовать ресурсы урана со стоимостью извлечения, существенно превышающей 80 долл/кг. При использовании реакторов-размножителей экономически выгодно разрабатывать месторождения бедных урановых руд, содержащих всего лишь 0,06% природного урана, не имеющих сегодня практического значения. Стоимость их извлечения составляет ~ 295 долл. за 1 кг урана. Возможно, в перспективе окажется выгодно использовать уран, содержащийся в морской воде и кристаллических породах. Не следует забывать и о запасах тория. По имеющимся данным, мировые ресурсы тория ниже, чем урана, однако надо иметь в виду, что они изучены гораздо хуже.

Согласно последним данным, характеризующим запасы урана при его использовании в реакторах на тепловых нейтронах и в реакторах-размножителях (см. табл. 2), следует, что широкое приме-

нение АЭС с реакторами-размножителями может решить проблему развития энергетики (с точки зрения обеспеченности энергоресурсами) в течение многих столетий без каких-либо топливных ограничений.

В топливные ресурсы ядерной энергетики, кроме урана, как уже отмечалось, входят также запасы дейтерия и трития. Термоядерная энергетика, основанная на синтезе ядер дейтерия или ядер дейтерия и трития, многократно повышает топливную базу ядерной энергетики.

В термоядерной реакции D—T условно лимитирующим фактором оказываются ресурсы не дейтерия, а лития. Дело в том, что трития в природе нет. Его можно получать искусственно, облучая ядра лития нейтронами. Это можно осуществить на самом термоядерном реакторе, окружив его специальной оболочкой из лития и воспользовавшись потоком нейтронов, возникающих при протекании в термоядерном реакторе реакции синтеза ядер дейтерия и трития. Литий лимитирует развитие энергетики условно, поскольку его ресурсов достаточно, чтобы обеспечить потребности на многие столетия (см. табл. 2). Переход же к термоядерной энергетике на основе синтеза только ядер дейтерия открывает неограниченные возможности для производства энергии.

Итак, ядерная энергетика хорошо обеспечена ресурсами. Однако вывод о необходимости развития того или иного источника энергии должен базироваться не только на основе соображений о его топливных ресурсах. Здесь также необходимо учитывать экономичность способа производства энергии, его технические возможности и степень воздействия на окружающую среду и население.

Как показывает анализ, ядерная энергетика и по этим показателям обладает неоспоримыми преимуществами перед другими источниками энергии. Так, с экономической точки зрения ядерная энергетика уже сейчас имеет преимущество перед энергетикой на органическом топливе и других источниках энергии. Далее, ядерная энергетика по своим техническим возможностям может в той или иной форме удовлетворить все энергетические потребности топливно-энергетического баланса.

При приближенном подсчете выясняется, что потребности в энергии распределяются следующим образом: 25% — на производство электроэнергии, 25% — на отопление жилых домов и других зданий, 25% — на промышленные цели и 25% — на транспорт. До настоящего времени гене-

¹⁷ Подробнее об этом см.: Казачков-ск и О. Д. Реакторы на быстрых нейтронах.— Природа, 1980, № 2, с. 17.

ральным направлением применения ядерной энергии было производство с ее помощью электроэнергетики на АЭС. Следовательно, даже если все сегодняшние электростанции перевести на ядерное горючее, то потребление органического топлива уменьшилось бы не более чем на 25%. Однако технические возможности ядерной энергетики позволяют использовать ее и для отопления, и в промышленности.

Первая из новых сфер применения ядерных реакторов — теплофикация городов, создание атомных электротеплоцентралей (АТЭЦ) и атомных станций теплоснабжения (АСТ). В настоящее время уже строятся несколько крупных АСТ, и в ближайшие годы следует ожидать их широкого распространения.

Другое перспективное направление: применение высокотемпературных газовых ядерных реакторов для производства высокотемпературного тепла. Во многих странах начаты работы по использованию такого тепла, например, для получения железа прямым восстановлением из окислов, в химической промышленности — для производства аммиака, для газификации угля и крекинга жидких углеводородов. Особого внимания заслуживает применение высокотемпературного тепла для производства водорода. Перспективы же применения водорода просто универсальны. Его ресурсы практически неограниченны, в энергетике он мог бы полностью вытеснить природный газ. Это удобный энергоноситель и идеальное топливо с экономической точки зрения. Наконец, водород можно широко использовать как автомобильное и авиационное топливо.¹⁸

Ядерной энергетике, подобно другим видам промышленной деятельности, присущи вредные факторы, потенциально опасные для человека. Наибольшую потенциальную опасность представляет радиоактивное загрязнение. Однако с самого начала развития ядерной энергетики ее предприятия проектировались так, чтобы не допустить опасного выброса радиоактивности в окружающую среду и чтобы обеспечить максимальную безопасность обслуживающего персонала. Накопленная информация об уровнях радиационного воздействия, об индивидуальных и коллек-

тивных дозах облучения персонала предприятий и населения вблизи предприятий ядерного топливного цикла подтверждает, что биосфера достаточно надежно защищена от радиационного воздействия предприятий ядерной энергетики. Из всех известных на сегодня способов производства энергии ядерная энергетика является минимально опасной.¹⁹

Мировые энергетические потребности в ближайшие десятилетия будут интенсивно расти. Какой-либо один источник энергии не сможет обеспечить эти потребности. Поэтому необходимо развивать все источники энергии и эффективно использовать энергетические ресурсы. На ближней фазе развития энергетики (до 2000 г.) и в первые десятилетия ее средней фазы (после 2000 г.) наиболее перспективными останутся угольная энергетика и ядерная энергетика на реакторах с тепловыми нейтронами. Возобновляемые источники едва ли удастся освоить в XX в. настолько, чтобы это повлияло на обеспечение энергией в мировом масштабе, хотя в отдельных регионах такие источники могут играть немаловажную роль.

Однако в XXI в. положение изменится, и новые источники энергии найдут широкое практическое применение. В рамках программы по ядерной энергетике следует активизировать работу по быстрым и термоядерным реакторам и использованию ядерной энергии не только для производства электричества, но и в других сферах (в первую очередь, для производства промышленного и бытового тепла).

Энергетическая стратегия, основанная на развитии всех источников энергии, позволит осуществить безболезненный и плавный переход в отдаленную фазу развития энергетики (после 2100 г.). При этом центральное место в энергетической политике на отдаленную перспективу следует отвести ядерной энергии. Солнечная энергия также должна занять определенное место в топливно-энергетическом балансе на отдаленной фазе. Однако без практического опыта в крупном масштабе трудно определить конкретную величину этой доли. Только развитие ядерной энергетики может обеспечить человечество любыми необходимыми количествами энергии и сохранить чистую биосферу.

¹⁸ Подробнее об этом см.: Легасов В. А. Водородная энергетика. — Природа, 1977, № 3, с. 3; Костомаров Е. Г., Поляков Е. Г. Гидриды в водородной энергетике. — Природа, 1980, № 12, с. 11.

¹⁹ Подробнее об этом см.: Бабаян Н. С. и др. Экологические проблемы атомной энергетики. — Природа, 1978, № 10; Бабаян Н. С. и др. Проблемы безопасности на атомных электростанциях. — Природа, 1980, № 6, с. 30.

Психология: итоги, проблемы, эксперименты

Б. Ф. Ломов



Борис Федорович Ломов, член-корреспондент АН СССР, член-корреспондент Академии педагогических наук СССР, профессор, директор Института психологии АН СССР. Занимается проблемами общей и инженерной психологии. Автор книг: Человек и техника. Очерки инженерной психологии. М.: Сов. радио, 1966; Психологическая наука и общественная практика. М.: Знание, 1974; Антиципация в структуре деятельности (в соавт. с Е. Н. Сурковым). М.: Наука, 1980.

На XXV съезде КПСС подчеркивалось, что «новые возможности для плодотворных исследований как общетеоретического, фундаментального, так и прикладного характера открываются на стыке различных наук, в частности естественных и общественных. Их следует использовать в полной мере¹.» С полным правом эти слова можно отнести и к психологии. Исследуя проблемы развития человека в целом, она волей-неволей использует достижения самых разных наук: общественных, когда сталкивается с вопросами развития личности, процессов общения или динамики коллективов; биологических, если изучает психические процессы или состояние и свойства человека как проявление функций головного мозга; технических — при анализе условий и особенностей трудовой деятельности человека и процессов информационного взаимодействия человека и технических устройств в системах управления. При этом в психологических исследованиях заинтересованы и другие науки. Без них, например, немыслимы разработки таких философских проблем, как роль субъективного фактора в истории, в социальной

организации и управлении обществом, как познавательная деятельность человека, творческое мышление, роль интуиции в познании и др. В биологии одна из важнейших проблем — возникновение и развитие психики. Как показал еще А. Н. Северцов, психика, возникнув в процессе биологической эволюции, становится его важнейшим фактором²; изучение закономерностей этого процесса неизбежно требует и изучения психики животных. Перспективы развития антропологии, физиологии (особенно физиологии высшей нервной деятельности), генетики человека существенно связаны с перспективами развития психологии. Возрастание роли психологии связано, таким образом, с логикой развития научного знания вообще, и — главным образом — с задачами общественной практики, требующими для своего решения знаний психических свойств человека. От этого зависит и решение многих глобальных проблем, таких как выявление резервов роста производительности труда, проектирование, разработка и эксплуатация техники, совершенствование системы управления народным хозяйством, освое-

¹ Материалы XXV съезда КПСС. М.: Политиздат, 1976, с. 72.

² Северцов А. Н. Эволюция и психика. М., 1922.

ние космоса, формирование нового человека и специальные частные задачи, связанные, например, с конструированием лицевых частей приборов или средств визуальной коммуникации.

Понятно, что за разными практическими задачами стоят и разные психологические проблемы. В одних случаях это проблемы психологического климата в трудовых коллективах, особенностей национально-этнической психологии, формирования психологического склада личности, в других — проблемы эмоциональной устойчивости человека, формирования навыков и умений, механизмов саморегуляции, в третьих — проблемы восприятия, внимания, памяти и мышления.

Большое значение принадлежит психологии в решении задачи повышения уровня мотивации трудовой деятельности. Часто человек, выполняя то или иное задание, руководствуется «короткими», связанными только с ближайшим будущим мотивами. Это является одной из причин тяжелого «психологического климата» на предприятиях и текучести кадров. Около 50% текучести обусловлено именно психологическими причинами (потеря интереса к работе, неудовлетворенность и т. д.). В этой связи заслуживает внимания работа, проведенная психологами на луберецком Коврово-ткацком комбинате им. 50-летия Великого Октября. Здесь были введены так называемые «карты личной перспективы», которые разрабатывались совместно с каждым поступающим на работу человеком на несколько лет вперед. «Карта» определяла перспективу роста и условия ее осуществления, иначе говоря, помогала формировать «далекую» мотивацию. Эта система повысила заинтересованность каждого в работе, содействовала формированию трудовых коллективов и сократила текучесть кадров³. При этом нужно отметить, что часто путают понятия «мотив» и «стимул», хотя это не одно и то же. Мотив — это то, что побуждает человека к деятельности, являясь внутренней силой поведения. Стимул — это внешнее воздействие. Действие стимула опосредовано психикой человека: его взглядами, чувствами, настроениями, интересами. Поэтому стимул лишь тогда становится реальной побудительной силой, когда превращается в мотив. Практически важ-

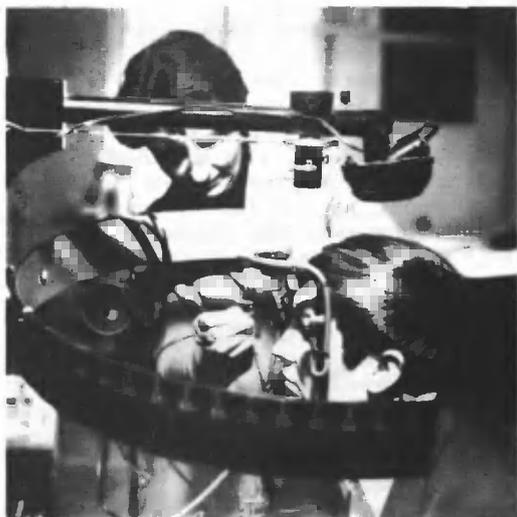
ная задача психологии состоит в том, чтобы выяснить механизмы этого превращения, учет которых необходим в организации стимулирования труда. Так, например, реорганизация производственного процесса на Иркутской обувной фабрике, выполненная по рекомендациям психологов, позволила снизить трудоемкость работ на 4,5 тыс. человеко-часов в год и повысить производительность на 16%. Психологически обоснованная рационализация рейсового режима на судах дальнего плавания Министерства рыбной промышленности СССР дала экономический эффект около 5 млн руб.⁴ Таких примеров множество. Но еще никто не подсчитал, какие потери несет государство оттого, что результаты психологической науки слабо внедряются в производство.

Практическая работа психологов до сих пор еще не ведется систематически — ею занято едва ли 10% специалистов. Причем не всегда четко определены критерии их работы, возможности, силы. Между тем круг задач, которые ставит перед психологией общественная практика, непрерывно увеличивается. Назревает необходимость создания государственной психологической службы в стране и серьезной подготовки таких специалистов, которые могли бы квалифицированно решать практические задачи: психологов-педагогов, психологов-врачей, психологов-инженеров, потребность в которых пока еще не удовлетворена. Поэтому нередко психологические задачи берутся решать дилетанты.

Говоря о дилетантизме, мы вовсе не имеем в виду тех, кто идет в психологию из других областей науки и практики в силу самой логики их деятельности. Речь идет о тех, кто берется за решение психологических проблем без достаточной специальной подготовки. Не меньшую опасность представляют попытки решать практические задачи по принципу «короткого замыкания»: прямого переноса тех или иных научных результатов (например, полученных в лабораторном эксперименте, даже тщательно проведенном) без глубокого анализа их оснований. Между тем такой перенос не всегда возможен. Попытки решать практические задачи, если они опираются на отдельные экспериментальные данные без их теоретического осмысления, могут привести к

³ Ломов Б. Ф. Психологическая наука и общественная практика. М.: Знание, 1974, с. 10.

⁴ Ломов Б. Ф. — Вопросы психологии, 1977, № 5, с. 20.



Лабораторное исследование процессов зрительного восприятия путем регистрации движения глаз. По движению глаз испытуемого можно судить о характере процесса восприятия [как, насколько полно и точно воспринимается наблюдаемый объект, какая информация пропускается].



Устройство средств отображения информации с учетом индивидуально-психологических особенностей человека [мнемосхема]. С помощью мнемосхем решаются вопросы взаимоотношений, складывающихся внутри системы «человек—машина», вопросы управления технологическим процессом на производстве. Она изображена на дисплее. Каждый из процессов отображен на ней стрелками, индексами или цифрами. Оператор с помощью электронного карандаша может поправлять схему, выбрать цвет на дисплее, с которым ему удобно работать.

результату, прямо противоположному тому, ради которого они предпринимаются. На реальную деятельность человека (и его поведение в целом) оказывает огромное количество самых разнообразных факторов: причинно-следственные связи в той сфере процессов, состояний и свойств, которые относятся к психологии, столь сложны и динамичны, что выявление закономерностей оказывается делом весьма нелегким. Это требует большого исследовательского труда, кропотливого анализа фактов реальной жизни и тщательной экспериментальной проверки гипотез, которые рождаются в ходе этого анализа и теоретического осмысления.

Психологический эксперимент давно уже стал одним из важнейших методов исследования. Он сформировался в психофизике и психофизиологии, ориентированных главным образом на естественные науки. Но постепенно он проник и в другие области психологии: социальную, педагогическую, юридическую.

Особенно интенсивное развитие получили методы лабораторного эксперимента, где обеспечиваются максималь-

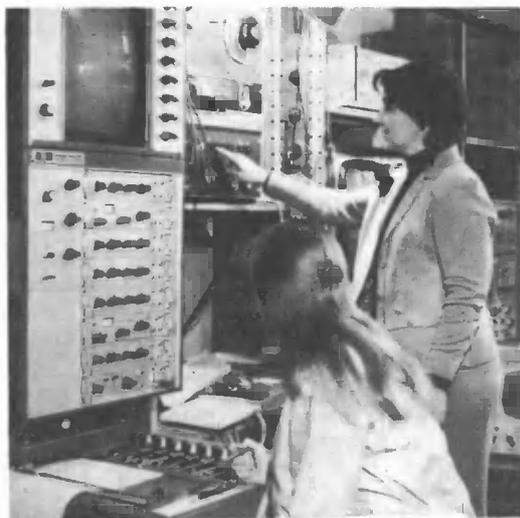
ные возможности управления условиями и факторами ситуации, которые определяют характер работы испытуемого, регистрации и измерения его действий, их математической обработки. Вначале лабораторный эксперимент организовывался таким образом, чтобы выделить и управлять некоторой единственной детерминантой и регистрировать некоторое единственное вызываемое ею явление. Работа была направлена на то, чтобы получить тот или иной психический процесс «в чистом виде». Однако до конца этого сделать не удавалось. Почти по каждой проблеме получались результаты, нередко противоречащие друг другу. Конечно, накопление больших массивов данных и применение статистики позволяют выявить некоторые устойчивые связи. Но далеко не всегда они позволяют судить о детерминантах определенно. Это осложняется еще и тем, что некоторые исследователи пытаются исключить из анализа получаемых результатов субъективные отчеты испытуемых и опираются только на объективные данные. Между тем сопоставление субъективных данных эксперимента с объективными может раскрыть для опытного экспериментатора



Исследование индивидуальных различий по характеристикам активности мозга. По психофизиологическим характеристикам определяется типология людей, выявляется тип темперамента. С их помощью можно прогнозировать реакции личности, необходимые для принятия решений, их профессиональную ориентацию.

очень многое и в конечном счете способствовать познанию объективных закономерностей психики. Кроме того, даже в относительно простом эксперименте, например, в эксперименте по измерению времени реакции, сходные данные, получаемые при обследовании разных или одних и тех же испытуемых, могут оказаться результатом влияния различных факторов: состояния испытуемого в данный момент, уровня его тренированности, мотивации, отношения к задаче. Иногда резкое отклонение тех или иных результатов от некоторого среднего значения, «выброс» является для психолога более информативным, чем само это среднее значение. Субъективные факторы рождают наибольшие трудности для проведения эксперимента, мешая проводить его по строгим канонам естественнонаучного исследования. Хотя именно они должны интересовать психолога в первую очередь, ибо дают возможность при помощи объективных методов проникнуть во внутренний мир человека, выявление законов которого и составляет главную задачу психологического исследования.

Использование современной тех-



Аппаратурное оснащение психологического эксперимента. Многоканальное высокочувствительное самопишущее устройство — полиграф — записывает слабые биосигналы (ритмы мозга, характеристики кожно-гальванической реакции и т. д.).

ники позволяет не только обработать данные в ходе эксперимента, но и изменять воздействия на испытуемого в зависимости от развития изучаемого психического процесса. Нередко методы лабораторного эксперимента включаются в исследования, проводимые в условиях реальной деятельности человека.

Однако лабораторный эксперимент — не единственное средство познания психического: ведь не все проблемы психологии можно исследовать в лабораторных условиях. Во многих случаях прибегают к методу естественного эксперимента, идея которого принадлежит А. Ф. Лазурскому. Он проводится в реальных жизненных ситуациях, не нарушая их естественного хода.

Одна из важнейших задач психологии на современном этапе развития заключается в том, чтобы рассмотреть все используемые ею методы как единую систему, раскрыть «разрешающую способность» и ограничения каждого из них, а также условия и возможности взаимопереходов между ними в зависимости от логики проводимого исследования. Это означает необходимость теоретической

разработки психологического исследования. При этом нужно помнить, что ценность каждой теории, каждого метода исследования определяется тем, насколько добротные и надежные факты он позволяет получать.

Вопрос о фактах в психологической науке не прост. Можно, например, точно и надежно измерить в лабораторном эксперименте время реакции человека на те или иные сигналы, выявить и строго описать его зависимость от интенсивности или каких-то других характеристик этих сигналов. Точно так же, организовав определенным образом естественный эксперимент, можно добиться тех или иных изменений в поведении людей, тщательно зарегистрировать и строго описать эти изменения. И в том и в другом случае есть основания говорить о научных фактах. Но психологию не интересуют факты сами по себе. Она должна, анализируя эти факты, выявить «внутренние пружины», которые приводят к этим изменениям, раскрыть динамику когнитивных (познавательных) и регуляторных процессов, проявляющуюся в изменениях времени реакции или особенности изменения мотивационной сферы человека, проявляющиеся в его поведении в целом.

Когда психолог решает такую задачу, он нередко сталкивается с тем, что в сходных фактах обнаруживаются различные психологические реальности, а факты различные или даже противоречивые свидетельствуют о действии одной и той же закономерности. И это вряд ли можно объяснить только различиями позиций исследователей и применяемых им методов. Дело в том, что самые проявления психического чрезвычайно разнообразны и динамичны, они управляются сложными детерминантами. Задачи психологической теории и заключаются в том, чтобы, рассмотрев все многообразие проявлений психики, выявить самое существенное в развитии психических функций, процессов, состояний, свойств, и на этой основе показать, что те или иные даже противоречащие друг другу явления (факты поведения, событие, результат) возникают в данных конкретных условиях одинаково необходимым образом в силу действия определенной объективной закономерности.

Теоретические концепции и схемы, пытающиеся дать однозначные и универсальные решения, в психологии, как правило, надолго не приживаются. Как только они создаются, сразу же обнаружива-

ется масса фактов, в них не укладывающихся. Психологии нужна такая теория, которая могла бы объяснить источники реальных противоречий, основания качественных преобразований в психическом развитии человека, системный характер психических явлений и их детерминант, рассмотреть психическое в его сложной динамике, понять диалектику возникновения и развития многих явлений психики.

Коллективными усилиями советских психологов сформирована система основополагающих принципов психологической науки, которая определяет ее предмет, методы и перспективную программу исследований. В связи с разработкой этих принципов и на их основе создан целый ряд теоретических концепций: деятельности (А. Н. Леонтьев, С. Л. Рубинштейн), установки (Д. Н. Узнадзе), системной организации психических процессов и функций (Б. Г. Ананьев), развития высших психических функций (Л. С. Выготский), отношений (А. Ф. Лазурский, В. Н. Мясищев), психофизиологических основ индивидуальных различий (Б. М. Теплов, В. Д. Небылицин), уровней реакций (К. Н. Корнилов), коллективных реакций (В. М. Бехтерев), единства обучения и психического развития ребенка (П. П. Блонский), динамической локализации функций (А. Р. Лурия), обобщенных ассоциаций (П. А. Шеварев) и др. Существенный вклад в общую теорию психологии вносит исследования ощущений и восприятия, памяти, внимания, речи и мышления, эмоций, темперамента, способностей, характера, личности в целом.

Изучение специфических аспектов психики, осуществляемое разными психологическими дисциплинами, неизбежно выводит ее на общие проблемы психологии. Так, предметом инженерной психологии является информационное взаимодействие человека и техники в системе контроля и управления. И за последние годы в советской инженерной психологии разработано немало интересных и удачных проектов, направленных на улучшение средств и условий деятельности человека-оператора. Так, например, в Институте общей и педагогической психологии АПН СССР разработан вариант приборной панели для химического завода с учетом закономерностей приема и переработки информации человеком. Эта приборная панель облегчает оператору задачу обнаружения предаварийных

ситуаций и оценку хода технологического процесса. В Ленинградском университете разработаны принципы построения алфавитов знаков, некоторые вопросы передачи речевых сообщений, предложены решения для средств отображения информации о пространственных характеристиках объектов. С участием психологов разработана интегральная панель для летательных аппаратов, успешно выдержавшая испытания⁵. Но именно потому, что инженерная психология не просто исследует процессы приема информации человеком-оператором, ее переработки, хранения, принятия решения и механизмы управляющих действий, но и пытается понять динамику изучаемых процессов, их взаимосвязи, факторы, влияющие на них, «информационные» возможности и ограничения человека, она вынуждена обращаться к теоретическим и экспериментальным результатам, полученным в общей психологии при изучении восприятия, памяти, мышления, психической регуляции действий и ряда других проблем. Логика исследований заставляет инженера обращаться к пограничным с ней областям психологической науки: социальной (при изучении совместной деятельности операторов), педагогической (при изучении процесса обучения и тренировки оператора).

Необходимость связей между различными психологическими дисциплинами определяется целостностью объекта их исследования. Изучая деятельность человека-оператора в системе управления, можно, конечно, ограничиться только теми процессами того, как он принимает, перерабатывает и хранит информацию, для оценки его точности, быстродействия и надежности. Но какие бы виды деятельности ни выполнял человек (оператора, организатора, ученика), он остается человеком со всей системой присущих ему многообразных свойств: «информационных», социально-психологических, психофизиологических и др. И эти свойства так или иначе проступают в любой его деятельности, неизбежно оказывая влияние на те явления, которые исследуются данной психологической дисциплиной.

В этой связи системное исследование психологических свойств, их объективных оснований и взаимосвязей становится особенно важным. Они имеют боль-

шое значение не только для общей теории психологии и специальных теорий, разрабатываемых различными психологическими дисциплинами, но и для практики. Так или иначе, но все специальные дисциплины соединяются в области общей психологии, являющейся фундаментом всей системы психологического знания. Каждая из них, исследуя особенное, вносит определенный, только для нее характерный вклад и в изучение общего, а вместе с тем исследование особенного опирается и на знание общего.

Разработка прикладных задач и развитие социальных дисциплин обогатили психологию множеством новых данных, методов и идей. Аналитическая картина психического существенно изменилась. Так, выяснилось, что восприятие, которое прежде рассматривалось как единый процесс, на деле представляет системы процессов, протекающих на разных уровнях и обладающих многими измерениями. Потому возникает необходимость критической сортировки массы фактов на базе общей теории психологии.

Говоря, однако, о современном состоянии этой теории, нельзя не отметить «пестроту», «мозаичность» общей картины. Выдвинут не один десяток концепций в области восприятия, памяти, мышления и многих других проблем. Одни из этих концепций отражают общие законы и свойства психического, другие — специальные виды человеческой деятельности, третьи — различные частные вопросы. Уровни абстракции и обобщения в них весьма различны. Можно выделить, по крайней мере, три уровня анализа: макро-, мезо- и микроуровни.

На макроуровне анализа человек исследуется как единое целое в контексте общественной жизни. Целью такого анализа является исследование, каким образом и в какой степени система общественных отношений, сложившаяся в данном обществе на определенной ступени его развития, определяет социальные установки, ценностные структуры, мотивы его поведения, субъективную сферу его отношений с окружающим. На этом уровне анализа психологи пользуются такими понятиями, как деятельность, сознание, самосознание, личность, характер, потребности, способности. Явления, которые в них отражаются, могут быть изучены только при глубоком анализе общественных отношений и тех связей, в которые вступают люди в процессе трудовой деятельности, в процессе развития общества, ибо об-

⁵ Ломов Б. Ф. Психологическая наука и общественная практика, с. 22.

существенные отношения — не нечто внешнее для человека: они складываются из действий каждой конкретной личности. Любая деятельность — и индивидуальная и общественная — выступает при этом как одна из форм существования общественных отношений. Именно с таких позиций — а не с абстрактных, широко трактуемых субъектно-объектных отношений — должна подходить психология к этому понятию. Тем не менее стоит помнить, что психологические свойства, изучаемые на уровне макроанализа, существуют не просто как «сгусток социума» — учитывается и биологический аспект, исследование развития человеческого организма.

На мезоуровне (среднем уровне) анализа исследуются вопросы, связанные с функциями психики в жизни человека. Здесь важно отметить следующий момент. Долгое время в психологии бытовали две крайние точки зрения на психику. Сторонники одной из них отрицали реальность психического, объявляя психологические категории фикцией. С ними солидаризовались ученые, рассматривавшие психические явления как эпифеномены, сопровождающие материальные процессы, развертывающиеся в мозгу. Представители другой крайности, напротив, признавали психическое единственной реальностью, непосредственно данной субъекту.

Обе крайности несостоятельны, ибо психические процессы, состояния, свойства — это реальные явления, включенные в жизнедеятельность человека и выполняющие в ней существенные функции. Есть основания говорить о трех основных функциях психики: когнитивной (познавательной), регулятивной и коммуникативной.

Когнитивная функция давно и успешно изучается в русле общей психологии (проблемы познавательных процессов), педагогической психологии (проблемы формирования и развития знаний у учащихся) и генетической психологии (проблемы развития интеллекта). Эта функция психики изучается различными психологическими науками на самых разных уровнях — от элементарных ощущений до сложнейших форм знания, которыми овладевает человек в процессе развития.

Значительно слабее исследуется регулятивная функция психики. Ощущение, восприятие, память, мышление, воображение — это не только процессы познания, но и регуляторы деятельности человека,

качество и эффективность которой во многом зависят от того, насколько точно и быстро человек воспринимает, запоминает и опознает предметы, с которыми и среди которых он действует. Только в контексте регулятивной функции могут быть поняты процессы мотивации, целеобразования, воли, внимания, динамика эмоциональных состояний.

Единство познавательной и регулятивной функций отчетливо обнаруживается в процессах предвидения (антиципации), ибо эти процессы развертываются и как процесс познания, и как процесс регуляции действий субъекта.

Коммуникативная функция психики пока изучается слабо. Нередко в психологических исследованиях дело представляется так, будто человек находится в отношении к предметному миру «один на один»; «социальная среда» представляется именно средой, в которой человек живет и действует. Вопросы взаимодействия человека с другими людьми остаются в стороне. Восприятие, внимание, мышление, эмоции исследуются с позиций сугубо индивидуальной деятельности людей, которая не существует сама по себе, а выступает лишь как одна из составляющих совместной деятельности целых коллективов или групп. Без учета этого положения динамика человеческой деятельности вряд ли будет раскрыта с достаточной полнотой.

Проблеме взаимодействия людей и их коммуникации (общения) большое внимание уделяет социальная психология. Однако проблема эта шире одной только этой дисциплины. Являясь по существу общепсихологической проблемой, она — предмет исследования также психологии труда, инженерной психологии, психофизики и даже психофизиологии. Ведь именно в общении формируется, развивается и проявляется система отношений «субъект — субъект», осуществляется обмен образами, идеями, интересами, формируются установки человека, черты его характера, развиваются эмоциональные состояния.

Вышеперечисленные функции психики реализуются в психических процессах и состояниях человека. Ныне психология накопила достаточное число экспериментальных данных о процессах ощущения, восприятия, памяти и мышления. Менее изучены процессы представления и воображения. Эти исследования позволяют рассматривать психические процессы как многоуровневые и многомерные. Поэтому в каждом конкретном случае важно выявить, при каких условиях и в силу

каких причин тот или иной уровень становится ведущим, определяющим свойства и динамику изучаемого процесса. При исследовании процессов антиципации (предвидения), например, как специфической формы проявления опережающего отражения было выяснено, что эти процессы протекают на субсенсорном (неосознаваемом), сенсомоторном, перцептивном, «представленном» и рече-мыслительном уровнях. На каждом из этих уровней процесс антиципации характеризуется особой системой специфических свойств.

На микроуровне анализа исследуются нейрофизиологические основы (механизмы) психических явлений.

Последовательный анализ психических процессов и состояний требует изучения их материального субстрата — совокупности нервных процессов, развивающихся в мозгу. В связи с этим возникли представления об общемозговых системных процессах, о функциональном органе и функциональных системах. Психическое в его отношении к нейрофизиологическому рассматривается ныне как системное качество; психические явления сопоставляются не с отдельными нейрофизиологическими процессами, а со способом организации этих процессов.

Такова общая схема трех уровней анализа. Она, конечно, требует дальнейшего обсуждения и уточнения, но, думается, что эта схема может сыграть роль своеобразных «лесов» при построении общей теории психологии.

При этом необходимо учитывать, что при развитии этой теории необходимо заниматься дальнейшей разработкой ее понятийного аппарата, ибо в связи с общим расширением знаний о психических явлениях, возникновением новых понятий появилась необходимость определения их взаимоотношений, диалектики их движения, взаимопереходов. К сожалению, до сего времени при разработке таких категорий, как сознание, познание, личность, общение, общественные отношения исследователи-психологи нередко подменяют психологические аспекты исследования философскими, социологическими, этическими, педагогическими и другими. В связи с этим возникла необходимость в четком определении тех аспектов категорий, которые могут и должны изучаться только психологической наукой, для чего требуется совместная работа психологов с представителями других наук и прежде всего — философии.

Одна из ответственных задач пси-

хологии — внедрение ее достижений в общественную практику — остается не менее важной задачей и сегодня. Пути такого внедрения различны — через педагогику, медицину, инженерные разработки и т. д. Внедрение достижений психологии в практику требует проведения комплексных исследований, опирающихся на системную теорию, что будет способствовать и повышению качества теоретических и экспериментальных исследований, и возрастанию роли психологии в практике воспитательной и идеологической работы, в решении конкретных задач народнохозяйственного строительства.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Абульханова-Славская К. А. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И ПСИХОЛОГИЯ ЛИЧНОСТИ. М.: Наука, 1979.

Ананьев Б. Г. ПСИХОЛОГИЯ ЧУВСТВЕННОГО ПОЗНАНИЯ. М.: Изд-во Акад. пед. наук, 1960.

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

Блонский П. П. ИЗБРАННЫЕ ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ И ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ СОЧИНЕНИЯ В ДВУХ ТОМАХ. М.: Педагогика, 1979.

Брушлинский А. В. МЫШЛЕНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ. М.: Мысль, 1970.

Будилова Е. А. ФИЛОСОФСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В СОВРЕМЕННОЙ ПСИХОЛОГИИ. М.: Наука, 1972.

Выготский Л. С. РАЗВИТИЕ ВЫСШИХ ПСИХИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ. М.: Изд-во Акад. пед. наук, 1960.

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И ПСИХОЛОГИЯ ЛИЧНОСТИ. М.: Наука, 1979.

Леонтьев А. Н. ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ПСИХИКИ. М.: Изд-во МГУ, 1972.

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

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПСИХОЛОГИИ. М.: Наука, 1969.

ОСНОВЫ ПСИХОЛОГИИ. Т. I—III. М.: Наука, 1978—1980.

Пономарев Я. А. ПСИХОЛОГИЯ ТВОРЧЕСТВА. М.: Наука, 1976.

Мутационный процесс у человека и прогнозирование его эффектов

Н. П. Бочков



Николай Павлович Бочков, академик Академии медицинских наук СССР, директор Института медицинской генетики АМН СССР, главный ученый секретарь Президиума Академии медицинских наук СССР. Основные научные интересы связаны с проблемами мутагенеза у человека и медико-генетического консультирования.

Изучение мутационного процесса у человека тесно связано как с теоретическими вопросами эволюции человека, так и с практическими задачами, стоящими перед медицинской генетикой, т. е. профилактикой наследственных болезней. Всестороннее изучение мутаций одинаково важно для понимания и механизмов, и внутренних причин наследственной изменчивости человека.

До 30-х годов XX столетия изучение мутаций у человека было случайным и сводилось в основном к описанию новых типов наследственных аномалий и выяснению характера их наследования. По существу, это была только констатация типов наследственной изменчивости. Впервые метод оценки интенсивности мутационного процесса у человека на основе частот доминантных признаков в популяции и длительности сохранения их в семьях был предложен Г. Данфортом в 1921 г.

В конце 20-х — начале 30-х годов было обнаружено, что между мутационным процессом и отбором в стабильных популяциях существует равновесие. Так, В. П. Эфроимсон в 1932 г. на основе экспериментальных исследований на шелкопряде предложил оценивать уровень мутаций по интенсивности отбора мутантов, а в 1935 г. Дж. Холдейн использовал

эту закономерность для оценки интенсивности мутационного процесса у человека. Теперь этим, так называемым непрямым методом, или методом Холдейна, оценивают частоту мутаций, вызывающих наследственные заболевания (например, гемофилию, мышечную дистрофию). Однако этот метод, несмотря на свою изысканность и кажущуюся простоту, не нашел широкого применения из-за трудностей оценки отбора в человеческих популяциях. Значительно чаще используют «прямой» метод оценки частот доминантных мутаций (фенотипический подход) с определением доли спорадических случаев.

Новая волна работ по мутагенезу у человека началась в 50-х годах в связи с необходимостью количественно оценить повреждающее действие ионизирующих излучений. К этому времени были разработаны цитогенетические методы, позволяющие экспериментально изучать влияние радиации и химических веществ на наследственные структуры в соматических клетках человека, а также диагностировать хромосомные и геномные мутации, т. е. так называемые хромосомные болезни.

В настоящее время твердо установлено, что мутации у человека возникают в соматических и зародышевых клетках на геном, хромосомном и геномном уровнях организации наследственных струк-

тур как спонтанно, так и под влиянием ряда факторов внешней среды (индуцированный мутагенез).

ИНТЕНСИВНОСТЬ МУТАЦИОННОГО ПРОЦЕССА

Интенсивность мутационного процесса в зародышевых клетках наиболее хорошо изучена для спонтанного уровня. Сведения по индуцированному мутагенезу в популяциях человека, как правило, немногочисленны и противоречивы, потому что получены косвенными методами.

Спонтанными называют мутации, возникающие в организме без каких-либо внешних воздействий. Однако это не означает, что процесс не детерминирован. Безусловно, спонтанные мутации определяются какими-то, пока еще неизвестными факторами, например продуктами обмена, естественным фоном радиации, ошибками при считывании наследственной информации и т. д.

Для каждого вида, в том числе и для человека, характерен определенный уровень спонтанных мутаций. Первые представления о нем складывались из данных медицинской статистики по отдельным формам наследственных болезней, а затем уже начали использовать прямые и косвенные методы определения частоты так называемых видимых мутаций, в основном, с патологическим проявлением или летальным эффектом. Уже с 1950—1960 гг. помимо клинических стали применять цитогенетические, биохимические и иммунологические методы, с помощью которых, во-первых, можно достоверно идентифицировать мутации у индивидов, и, во-вторых, обследовать большие группы населения.

Спонтанный мутагенез в зародышевых клетках человека интенсивно протекает на генном, хромосомном и геномном уровнях.

Генные мутации составляют обширную часть наследственной изменчивости человека. Регистрировать их можно по вариантам белков, антигенов, физиологических, морфологических или клинических признаков. Генные мутации являются причиной (этиологическим фактором) не менее 1500 наследственных болезней. Для изучения мутационного процесса из этой большой группы можно использовать только такие мутации, которые четко диагностируются клинически. В настоящее время известны сведения по частоте 17 генных мутаций (табл. 1). Исследования проведены

Таблица 1

Частота генных мутаций у человека

Наследственные болезни	Тип наследования*	Количество мутантов на 1 млн гамет
Ахондроплазия (карликовость)	АД	5,1—13,0
Аниридия (слепота)	АД	2,6—2,9
Микрофтальмия (ослабление зрения) без психических нарушений	АД	5,0
Синдром Марфана (нарушения скелета, сердечно-сосудистой системы)	АД	4,2—5,8
Пальгеровская аномалия лейкоцитов	АД	9,0—27,0
Нейрофиброматоз (образование опухолей)	АД	44,0—100,0
Множественный полипоз толстого кишечника	АД	10,0—50,0
Ретинобластома (опухоль глаза)	АД	3,0—12,3
Хорея Гентингтона (атрофия клеток коры)	АД	1,0—10,0
Туберозный склероз	АД	6,0—10,5
Мышечная дистрофия (плече-лопаточная форма)	АД	8,0—11,0
Синдром Аперта (акроцефалосиндактилия)	АД	3,0—4,0
Несовершенный остеогенез (ломкость костей)	АД	7,0—13,0
Поликистоз почек	АД	65,0—120,0
Множественные экзостозы (костные выросты)	АД	6,3—9,1
Синдром Хиппель — Ландау (глазные повреждения)	АД	0,2
Микроцефалия	АР	27,0
Амавротическая идиотия	АР	11,0
Буллезный эпидермолиз (кожные нарушения)	АР	5,0
Ихтиоз (ороговение кожи)	АР	11,0
Ихтиоз	РХ	24,0
Гемофилия А	РХ	37,0—52,0
Гемофилия Б	РХ	2,0—3,0
Мышечная дистрофия Дюшенна	РХ	43,0—105,0
Пальце-рото-лицевой синдром	РХ	5,0

* АД — аутосомно-доминантный

АР — аутосомно-рецессивный

РХ — рецессивный, сцепленный с X-хромосомой

в разных странах, в том числе в нашей стране. Оказалось, что спонтанная частота генных мутаций у человека находится в пределах $1 \cdot 10^{-5}$ — $1 \cdot 10^{-7}$. Примерно таков же диапазон частот мутаций и у лабораторных млекопитающих.

На первый взгляд может показаться, что это не столь уж высокие темпы

мутационного процесса. Между тем, надо принимать во внимание общий набор генов и суммарную частоту мутаций. Точное количество генов у человека еще неизвестно, но, по мнению многих специалистов, наиболее вероятные величины для гаплоидного набора — $1-5 \cdot 10^5$, а для диплоидного соответственно — $2 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^6$. Исходя из принятой частоты мутаций и количества генов, по-видимому, наиболее правильной будет следующая суммарная оценка интенсивности спонтанного мутационного процесса на геномном уровне: в каждом поколении возникает от 1 до 10 новых генных мутаций на 1 зародышевую клетку.

Необходимо отметить, что с каждым годом совершенствуется методика исследований генетических и клинических исследований и растет уровень биологических знаний. Именно поэтому результаты последних работ дают все меньшую частоту отдельных мутаций. Связано это с тем, что в каждой последующей работе отсеивается все больше и больше факторов, искусственно завышающих частоту мутаций (наличие фено- и генокопий, уточнение доли спорадических случаев и т. д.).

В целом, можно сказать, что данные, полученные по частоте генных мутаций, слишком ориентировочны и этот вопрос требует дальнейшей разработки. Необходимы широкие комплексные исследования с применением клинических, биохимических и иммунологических методов обследования больших групп новорожденных, а также материала спонтанных аборт и мертворожденных (поскольку некоторые мутации часто приводят к летальному исходу). Нужна также более четкая диагностика наследственных болезней. До сих пор статистические данные органов здравоохранения многих стран не могут быть использованы генетиками из-за неточной диагностики наследственных болезней.

Как известно из экспериментальной генетики, частота возникновения генных мутаций зависит от физиологического состояния организма, возраста, генотипа и других факторов. В отношении человека ни по одному из факторов пока нельзя сделать определенного заключения, кроме возраста. Так, для некоторых болезней (ахондроплазии, синдрома Марфана, осифицирующего миозита, синдрома Апера) обнаружена зависимость частоты мутаций от возраста отцов: чем старше мужчина, тем больше вероятность, что его половые клетки несут мутантные аллели.

Хромосомные и геномные мутации служат причиной таких тяжелых заболеваний, как болезнь Дауна, синдрома Клайнфельтера, Шерешевского-Тернера, кошачьего крика и т. д. Всю эту группу называют хромосомными болезнями (их обнаружено более 300 форм). Представления о них складывались из цитогенетического обследования материала спонтанных аборт, мертворожденных, детей с врожденными пороками развития и других групп. В зародышевых клетках человека возникают все типы хромосомных и геномных мутаций. Речь идет о перестройке хромосом, когда нарушается строго определенный порядок организации, специфичной для каждого вида. Это так называемые нехватки, или делеции, возникающие в результате разрывов хромосом и потери оторвавшегося фрагмента; инверсии, дупликации или транслокации, образующиеся когда вновь возникший фрагмент присоединяется иначе, чем в исходных хромосомах¹. Геномные мутации включают полиплоидию, выражающуюся в многократном увеличении диплоидного числа хромосом.

Сейчас известно, что примерно 15% всех беременностей заканчиваются спонтанными абортами, 2% — мертворождением и 83% — рождением живого ребенка. На большом материале, в том числе полученном советскими исследователями (обследовано свыше 60 тыс. новорожденных, 5 тыс. спонтанных аборт и т. п.), изучена частота хромосомных аномалий в этих группах. Кроме того, определена доля мутаций, унаследованных из предыдущих поколений и вновь возникших (их часто называют спорадическими случаями). Это дало основания определить частоту этих типов мутаций (табл. 2).

Исходя из соотношения спонтанных аборт, мертво- и живорождений, а также частот хромосомных аномалий среди них, была рассчитана средняя частота хромосомных и геномных мутаций, которая составила 7,35%. По-видимому, эта цифра несколько занижена, поскольку многие типы мутаций приводят к высокой гибели гамет и зигот на самых ранних сроках развития (до 50—70%). Этот исход зачатия генетики объединяют под общим названием «доминантные летали», а врачи — как «несостоявшиеся беременности».

¹ Подробнее см.: Гершензон С. М. Прыгающие гены.— Природа, 1979, № 1, с. 82.

Таблица 2

Частота хромосомных и геномных мутаций у человека

Исход беременности	Мутантные фенотипы, в %	Новые мутации, в %
Спонтанные аборт	47,0	46,1
Мертворожденные	6,2	5,5
Новорожденные	0,6	0,4

Колебания частот хромосомных болезней в разных популяциях незначительны, поэтому нельзя говорить о популяционно-географических различиях. Исключения составляют только полисомии по половым хромосомам. Например, в Шотландии частота девочек трипло-Х (три Х хромосомы вместо двух в норме) и мальчиков с набором YY среди новорожденных выше, чем в СССР, Канаде, США и других странах, но объяснение этому до сих пор не найдено.

Факторы, определяющие частоту хромосомных и геномных мутаций, неизвестны. Убедительные данные получены только относительно возраста матерей. У женщин после 35 лет резко повышается (до 10 раз) вероятность рождения детей с хромосомными болезнями. Возраст отцов здесь, в отличие от генных мутаций, по-видимому, не имеет значения. Вряд ли правомерно объяснять этот факт аккумуляцией дозы облучения или других мутагенов, потому что их доза, накопленная за предыдущие 30—35 лет, значительно больше, чем увеличение за последующие годы.

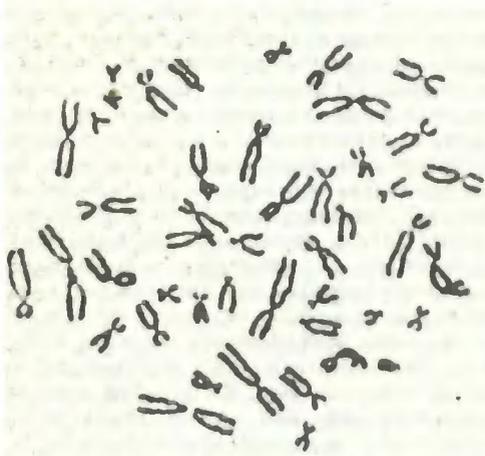
Уровень мутационного процесса у человека достаточно высок, и поэтому им нельзя пренебрегать. Биологическая и социальная эволюция поставила человека в особое положение в ряду живых существ. Действие отбора постепенно у него сводится на нет. Именно поэтому, в полном соответствии с законами популяционной генетики, сохранение естественного (спонтанного) мутагенеза может приводить к некоторому накоплению отрицательных мутаций. В современных популяциях мутационный процесс играет существенную роль в определении частоты тяжелых наследственных, в основном доминантных и хромосомных, болезней: от 90 до 95% их определяются новыми мутациями. Медико-генетическое консультирование — одна из форм профилактики наследственных болезней, которая позволяет определить сте-

пень риска появления наследственной патологии. К сожалению, эта форма используется еще недостаточно широко, хотя методы медико-генетического обследования хорошо разработаны. Это различные клинические, биохимические, иммунологические, цитологические анализы, которые применяют для обследования супругов и их родственников. Если вероятность рождения ребенка с наследственной аномалией составляет 20%, родителям рекомендуют воздержаться от деторождения. Однако даже самое широкое применение медико-генетического консультирования не может выявить вновь возникающие мутации, и поэтому профилактика этой группы заболеваний очень сложна. В принципе можно представить себе два пути профилактики: пренатальная (дородовая) диагностика и уменьшение интенсивности спонтанного мутационного процесса (антимутагенез). Но и тот и другой подходы пока нереальны по следующим причинам. Во-первых, пренатальная диагностика большого числа наследственных заболеваний у всех беременных женщин пока не может быть решена, потому что это потребует подготовки непомерно большого числа высококвалифицированных специалистов и серьезных материальных расходов. Во-вторых, несмотря на некоторые экспериментальные доказательства антимутагенеза, часто очень противоречивые, нельзя ставить вопрос о его применении у человека до тех пор, пока не будут получены данные о специфическом антимутагенезе в отношении определенных мутаций. Ведь «тотальный» антимутагенез приостановит спонтанный мутационный процесс во всех клетках. Полное прекращение мутационного процесса означало бы расширенное вмешательство в популяции человека, т. е. активное воздействие на его эволюцию. Возможность таких вмешательств с положительным результатом пока еще не доказана.

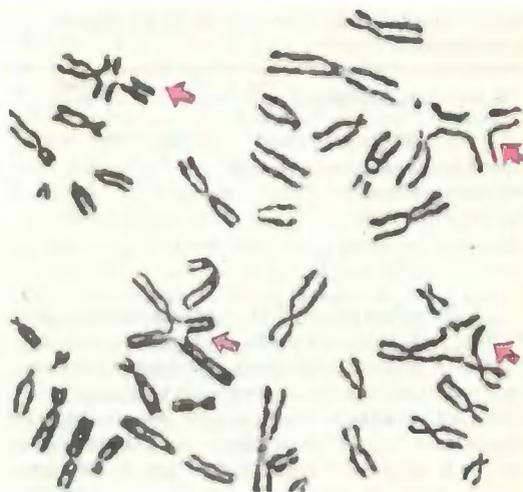
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МУТАЦИОННОГО ПРОЦЕССА

Контроль за мутационным процессом у человека и прогнозирование его эффектов необходимы, во-первых, в связи с организацией помощи больным с наследственными заболеваниями и, во-вторых, в связи с оценкой состояния среды обитания человека, которая все больше «наполняется» мутагенными факторами.

Прогнозирование мутационного процесса у человека может осуществляться двумя методами: во-первых, путем экст-



Нормальный хромосомный набор: хромосомы лимфоцита человека после воздействия ионизирующими излучениями; хромосомы лимфоцитов человека после воздействия химическим мутагеном — тиофосфамидом: хромосомные aberrации; сестринские хроматидные обмены (нарушения указаны цветными стрелками) (слева и справа).



раполяций на основе мониторинга наследственной изменчивости в популяциях человека и, во-вторых, на основе аналогий с индуцированным мутагенезом на экспериментальных объектах, в том числе на клетках человека. Оба эти подхода не исключают, а дополняют друг друга. Для использования других методов прогнозирования в настоящее время еще недостаточно фактов по динамике мутационного процесса у человека.

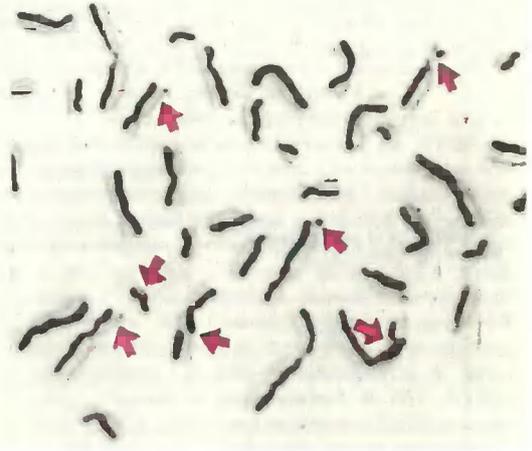
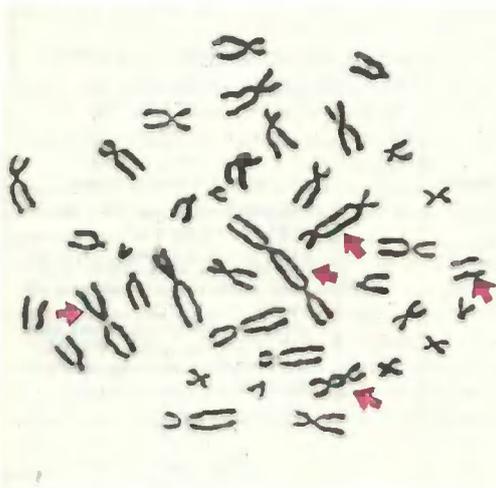
Метод экстраполяции на основе мониторинга наследственной изменчивости заключается в оценке интенсивности мутационного процесса во времени. Поскольку сведения о динамике частот мутаций или мутантных фенотипов за предыдущие десятилетия отсутствуют, данный метод в настоящее время нельзя использовать, какими бы ни были изящными математические приемы. Очевидно, что модели для экстраполяции будут разными для генных, хромосомных и геномных мутаций, и это существенно осложняет разработку проблемы. Однако современные методы учета отдельных типов мутаций у человека позволяют приступить к широкой работе в этом направлении. Организация такого генетического мониторинга требует боль-

ших экономических затрат. Вот почему, в лучшем случае, в какой-либо лаборатории оцениваются частоты либо небольшого числа генных болезней, либо хромосомных аномалий, либо врожденных пороков развития. Следовательно, необходимо совершенствовать методы количественной оценки наследственной изменчивости у человека. Даже разработка частных подходов здесь очень важна, потому что это позволяет накапливать сведения по характеристике мутационного процесса у человека в конкретный период времени.

Поскольку сведения о частоте генных мутаций еще разрозненны и отрывочны, пока не только невозможно прогнозировать изменение частот в будущем, но и нельзя достаточно точно оценить интенсивность мутационного процесса. В этом отношении более благоприятно положение с изучением хромосомных и геномных мутаций. Если цитогенетически обследовать все исходы беременностей, то для установления повышения мутационного процесса в два раза достаточно проследить за результатами исхода всего 85 беременностей, а чтобы оценить повышение только на 10%, необходимо изучить уже 6050 исходов беременностей.

Сегодня еще рано говорить о действующем контроле за мутационным процессом, но уже можно констатировать, что четко наметились основные пути его создания и определились первоочередные задачи.

Прежде всего, необходимо разработать математические модели мутационного процесса у человека, так как без них



невозможно использовать фактический материал по частотам мутантов. Как выяснилось, сведений по частоте и динамике генных мутаций далеко не достаточно даже для выявления тенденций. Необходимы более глубокие представления, чем имеющиеся сейчас, о сложных популяционных и демографических процессах в современном обществе, которые становятся все более и более динамичными.

В связи с изменением окружающей среды, расширением «границ браков» (уменьшение коэффициента инбридинга — близко родственного скрещивания), улучшением медицинской помощи, увеличением миграции населения необходимо обоснованно интерпретировать получаемые различия в частоте наследственных болезней или мутаций в разных группах населения (или во времени), так как они могут быть следствием не только индуцированного мутагенеза, но и ряда других популяционных процессов, не говоря уже о методических различиях получаемых сведений.

В динамике частот наследственных болезней и врожденных пороков развития генетической природы необходимо детально разбираться не только с генетической точки зрения, но и с медико-статистической. Даже стабильная частота наследственных болезней еще не говорит об отсутствии индуцированного мутагенеза и наоборот. Например, во всех странах все меньше женщин рожают после 35 лет, что приводит к существенному снижению частоты болезни Дауна (трисомия 21 хромосомы) — на 20—50%. Таким образом, если в какой-

то популяции частота болезни Дауна не меняется при одновременном уменьшении числа женщин, рожавших после 35 лет, это означает, что какие-то внешние факторы индуцируют трисомию.

Второй подход для прогнозирования мутационного процесса — методы аналогии с экспериментальными объектами. Этот подход применим, прежде всего, для оценки генетических эффектов индуцированного мутагенеза. Для этого необходимы данные двоякого рода: гигиенические и экспериментально-генетические.

Гигиенические данные оценивают динамику мутагенных факторов (количество и характер) в среде обитания человека в широком смысле слова и степень подверженности ими населения. Средняя «мутагенная нагрузка» на человека может быть неодинаковой в разных странах. Для прогноза нужны сведения о качественных изменениях среды, которые получают гигиеническими методами. В литературе можно встретить высказывания о непрерывном повышении количества мутагенов в будущем. Это не совсем оправданные мнения, потому что в недалеком будущем концентрация мутагенов в окружающей среде достигнет своего максимума (если уже не достигла), и изменения мутагенов будут носить лишь качественный характер, например, один пестицид заменится другим и т. п. Знание этой динамики необходимо для прогноза генетических эффектов. Гигиенисты должны прогнозировать динамику загрязнения окружающей среды с учетом мутагенных свойств, а для этого генетики должны принимать в такой работе

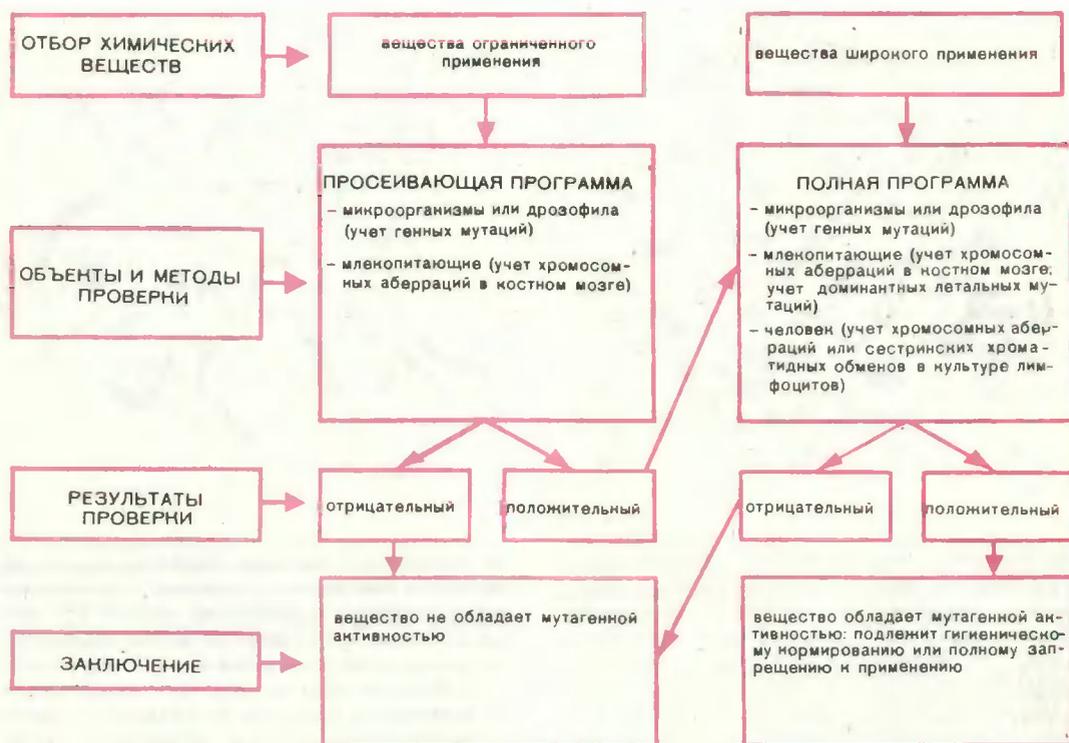


Схема проверки химических веществ на мутагенность.

непосредственное участие, чтобы определить долю мутагенных факторов.

Экспериментально-генетические данные позволяют выполнить главные условия для правильного прогнозирования, т. е. идентифицировать мутагенные факторы в среде; определять величину мутагенных эффектов от каждого фактора в отдельности и при их взаимодействии; разработать правила (или определение «коэффициентов») экстраполяции в рамках экспериментального мутагенеза; определить «коэффициенты поправок» для прогнозирования методом аналогий между экспериментальными объектами и человеком.

Для каждого из этих условий уже имеются серьезные экспериментально-генетические разработки. Так, для определения мутагенных факторов разработаны многочисленные методы учета индуцированных мутаций на микроорганизмах,

растениях, животных, клетках человека, в том числе и экспресс-методы.

Для определения величины риска уже имеются математические модели дозовых зависимостей для ионизирующих излучений, концентрационных и экспозиционных зависимостей для некоторых групп химических веществ. Выявлены общие подходы для составления моделей.

Очень важно правильно определить коэффициенты «поправок» для экстраполяции. В этом направлении основные результаты могут быть получены с помощью сравнительного мутагенеза. Пока еще нет экспериментально доказанных правил экстраполяции с одного вида на другой, с соматических клеток на половые, с хромосомных aberrаций на генные мутации. Неправомерные экстраполяции могут давать ошибки в 10 и более раз. Так, например, первоначально доза ионизирующих излучений, удваивающая число мутаций у человека, была определена Н. П. Дубининым в пределах 10 р^2 . Последующие, более правильные экстраполяции позволили

² Дубинин Н. П. Проблемы радиационной генетики. М.: Атомиздат, 1961.

Научному комитету ООН по радиации повысить удваивающую дозу до 50—150 р.

В связи с глобальной проблемой загрязнения окружающей среды остро стоит вопрос об индуцированном мутагенезе у человека, который, конечно, особенно опасен с популяционной точки зрения. Если говорить строго, в изучении индуцированного мутагенеза у человека сделаны лишь первые шаги. Задача эта может быть решена только через понимание механизмов мутагенеза, через теоретические исследования, включающие математическое моделирование. На этом пути будет достигнута основная цель — оценить интенсивность индуцированного мутагенеза у человека и прогнозировать его эффекты в будущих поколениях.

В условиях прогрессивного общественного строя индуцированный мутагенез можно свести до минимума, устранив мутагенные факторы. Проблема эта сложная, она не только медицинская или биологическая, но и социальная. Нужно ввести в практику систему выявления мутагенных факторов среды. Экспериментальные разработки в области индуцированного мутагенеза у человека служат основой для практического применения в гигиеническом нормировании новых факторов внешней среды с генетических позиций, как это представлено на схеме.

Методы проверки физических, химических и биологических факторов на мутагенность разрабатывались во многих лабораториях в разных странах. Всесторонняя проверка должна обязательно учитывать возникновение разных типов мутаций (генных, хромосомных и геномных). Нельзя ограничиваться только одним методом. Например, при обследовании химических веществ нужно включать методы с «метаболической активацией» их *in vivo* или *in vitro*. Полученные в эксперименте количественные закономерности индукции и составляют основу того или иного фактора.

Представленное на схеме гигиеническое регламентирование факторов среды обитания человека отражает практическую сторону их проверки, которая вряд ли может быть в полной мере реализована в настоящее время для всех факторов. Поэтому выбор первоочередных веществ для проверки определяют генетики вместе с гигиенистами, исходя из химической структуры веществ и их популяционной распространенности. Законодательные положения о проверке веществ на мутагенность существуют в ряде стран, в том числе в СССР, только для лекарств. В настоящее

время во всем мире проверяется менее 1% новых химических веществ на мутагенность. Несмотря на это, известны уже сотни химических мутагенов, с которыми человек контактирует в большей или меньшей мере на протяжении своей жизни.

Необходимо подчеркнуть, что индуцированный мутагенез опасен не столько для отдельных индивидов, сколько для популяции в целом. Например, повышение уровня мутаций в 2 раза у одного человека повысит вероятность рождения у него больного ребенка с 5% до 10%. Этот риск считается невысоким (высокий — более 20%). В то же время, с популяционной точки зрения, эффект окажется огромным, если уровень мутаций повысится у всех людей: около 6 млн детей в год будут рождаться с наследственными болезнями.

Говоря об опасности индуцированного мутагенеза, необходимо помнить и о меньшей опасности его переоценки. В недалеком прошлом такая тенденция имела место в отношении радиационного мутагенеза, сейчас она намечается для химического. Мутагенез — лишь одно из звеньев последствий научно-технического прогресса, поэтому его нельзя представлять изолированно от положительных сторон прогресса, которых неизмеримо больше, чем отрицательных.

Для успешного решения задач в области мутагенеза у человека необходимо объединить усилия генетиков, биологов-популяционистов, медиков, объединить экспериментально-генетические, демографические, медико-статистические данные под углом зрения динамики мутационного процесса. Малейшие сдвиги в этом направлении должны вызвать самую серьезную тревогу и неотложные меры по уменьшению интенсивности мутационного процесса.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Ауэрбах Ш. ПРОБЛЕМЫ МУТАГЕНЕЗА. М.: Мир, 1978.

Бочков Н. П. ХРОМОСОМЫ ЧЕЛОВЕКА И ОБЛУЧЕНИЕ. М.: Атомиздат, 1971.

Бочков Н. П. ГЕНЕТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПОПУЛЯЦИЙ ЧЕЛОВЕКА В СВЯЗИ С ЗАГРЯЗНЕНИЕМ СРЕДЫ. — Цитология и генетика, 1977, т. II, № 3.

Гершензон С. М. ОСНОВЫ СОВРЕМЕННОЙ ГЕНЕТИКИ. М.: Наука, 1980.

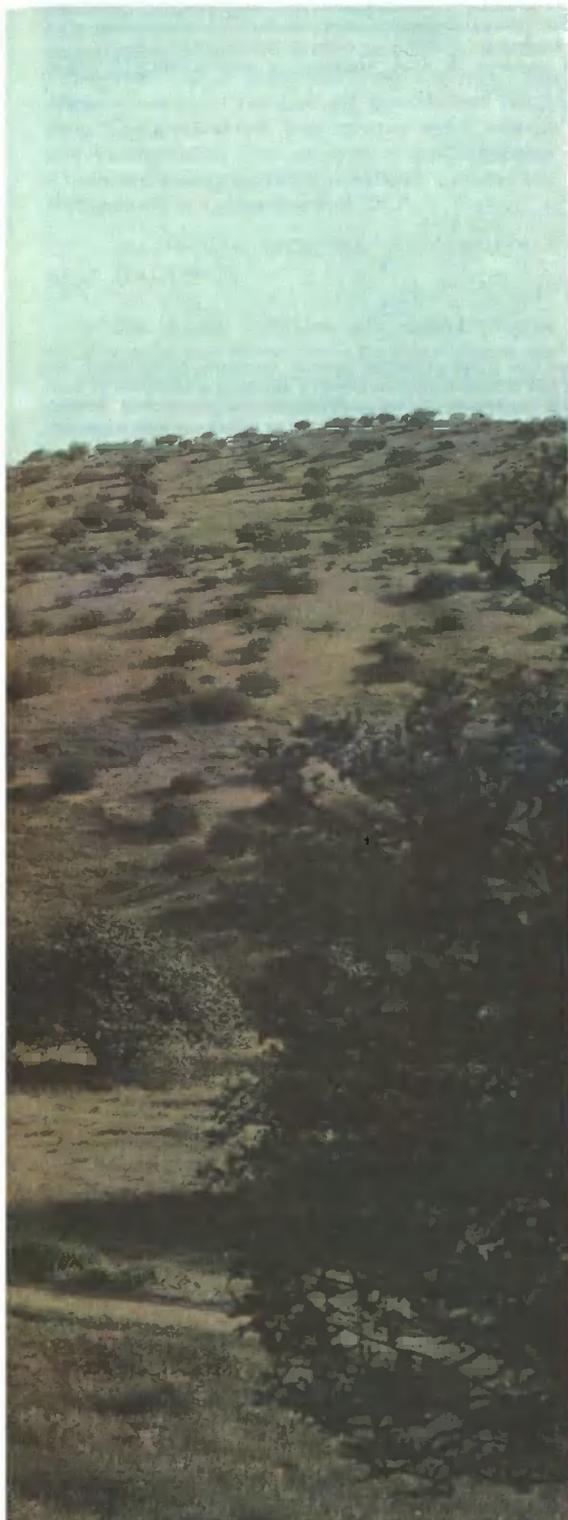
НАВСТРЕЧУ XXVI СЪЕЗДУ КПСС



Пути улучшения пустынных пастбищ Средней Азии

Н. Т. Нечаева, З. Ш. Шамсутдинов, Г. М. Мухаммедов







Нина Трофимовна Нечаева, академик АН Туркменской ССР. Основные научные интересы связаны с изучением растительности и пастбищ пустынь, а также с общими вопросами экологии аридной зоны. Руководитель аридного проекта № 4 по программе МАБ ЮНЕСКО. Герой Социалистического Труда.



Зебри Шамсутдинович Шамсутдинов, доктор биологических наук, заместитель директора Всесоюзного института каракулеводства и директор Селекционного центра по пустынным кормовым растениям Министерства сельского хозяйства СССР. Занимается улучшением и рациональным использованием пастбищ аридной зоны.



Гелди Мухаммедович Мухаммедов, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией экологии растений Института пустынь АН Туркменской ССР. Изучает продуктивность пустынной растительности и пути улучшения пастбищ в экстремальных условиях Каракумов.

Повышение продуктивности естественных пастбищ пустынь — важное условие развития каракулеводства — ведущей отрасли животноводства республик Средней Азии. Особое значение приобретает решение этой проблемы в связи с быстрым

ростом населения, необходимостью предотвращения процессов опустынивания, увеличения поголовья овец, продукции каракулеводства.

Даже при условии переброски в отдаленной перспективе стока части сибирских рек в Среднюю Азию можно будет оросить лишь не более 15% пустынных территорий, т. е. огромные площади неорошенных пастбищных земель по-прежнему останутся кормовой базой животноводства. В условиях интенсификации овцеводства необходимо сохранить и увеличить урожайность пастбищ для обеспечения устойчивой численности поголовья овец и его продуктивности, наряду с созданием страховых запасов кормов.

На с. 40—41.

Природные пастбища песчаной пустыни (Каракумы) и их обитатели (сверху вниз): черносаксаульник в долинообразных понижениях, кандымники в грядово-бугристых песках, белосаксаульник в грядово-бугристых песках.

Фото А. В. Гражданкина.

В Институте пустынь Академии наук Туркменской ССР и Всесоюзном институте каракулеводства Министерства сельского хозяйства СССР разработаны научные основы и методы улучшения пустынных пастбищ Средней Азии без орошения и внесения удобрений. Эти методы апробированы и широко внедряются в совхозах и колхозах Узбекской и Туркменской ССР.

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ УЛУЧШЕНИЯ ПАСТБИЩ

Пастбища пустынь обладают рядом положительных качеств — разнообразными и дешевыми кормами, относительно высокой их питательностью, длительным, а в южных районах круглогодичным периодом выпаса скота. К недостаткам относятся низкая урожайность (1,5—3 ц/га в сухом весе) и резкие колебания урожая по годам и сезонам года: количество корма на пастбищах и его питательность к зиме уменьшаются более чем вдвое, и из каждых 10 лет 3—4 года бывают неурожайными. Эти особенности естественных пастбищ пустынь обуславливают неустойчивость кормовой базы, а в неурожайные годы — большие потери поголовья овец.

Пустынные пастбища Средней Азии делятся на кустарниковые, полукустарниковые и травяные. На кустарниковых пастбищах песчаной пустыни растут крупные и средние кустарники (саксаулы, кандымы), полукустарники (полыни, солянки, астрагалы), многолетние и однолетние травы. В этих сообществах надземные и подземные части растений располагаются на различном уровне. Высота крон чаще всего 2—4 м, а глубина корней около 10 м. Это — наиболее устойчивые по отношению к засухе пастбища, пригодные для выпаса в течение всего года.

Полукустарниковые пастбища глинистой и гипсовой пустынь более разнообразны, на них растут полыни, солянки и сравнительно небольшое количество многолетних и однолетних трав. Надземные части растений имеют высоту до 50 см, а глубину корней 1,5—2 м. Это хорошие пастбища в осенне-зимнее, удовлетворительные в весеннее и плохие в летнее время года.

Травяные пастбища лёссовой предгорной пустыни сложены многолетними и однолетними травами. Их надземные части по высоте не превышают 25—40 см, а корни располагаются на глубине до 1 м. Эти пастбища хороши только весной и летом, зимой плохо обеспечивают овец кормами,

а в засушливые годы особенно подвержены снижению урожайности.

В настоящее время значительные площади (около 20%) кустарниковых пастбищ песчаной пустыни обеднены в результате чрезмерного выпаса и вырубки кустарников на топливо. Эти пастбища из круглогодичных превратились в сезонные с низкой урожайностью (на 20—50% ниже возможной). Большие площади в предгорной зоне занимают вторичные типы травяной растительности, где отсутствуют кустарники и хорошие в кормовом отношении полукустарники. Все эти территории характеризуются низкой урожайностью пастбищ и хорошо обеспечивают скот кормами лишь весной и летом.

В интересах развития пастбищного животноводства в засушливой зоне — в предгорьях (с осадками 160—280 мм в год) и в песчаной пустыне Каракум (с осадками около 140 мм в год) — нами были разработаны и эффективные методы повышения продуктивности растительного покрова в пустыне без орошения и внесения удобрений.

Теоретическим обоснованием улучшения пастбищ в пустыне без орошения и внесения удобрений явились исследования в области экологии и фитоценологии пастбищных экосистем, а также биологию самих растений. В частности, была сделана оценка природной среды различных типов пустынь и выявлены неиспользуемые растительностью резервы влаги в более глубоких почвенных слоях.

Обоснована необходимость создания на обедненных пастбищах сообществ из кустарников, полукустарников и трав, как наиболее продуктивных и устойчивых в суровых условиях пустыни фитоценозов. Такие сообщества можно использовать в качестве пастбищ круглый год, особенно ценны они зимой.

Установлено, что наилучший путь устранить конкуренцию со стороны природных многолетних трав для всходов кустарников — полосная (кулисная) распашка. Кроме того, пахота способствует накоплению влаги в почве и более длительному ее сохранению. Таким образом можно накопить и сохранить в слое почвы до 120 см около 80% влаги атмосферных осадков для использования ее растениями. Полосная распашка не вызывает дефляционных процессов.

Пустынные пастбища обогащали местными хорошо приспособившимися к условиям пустыни растениями. Для выявления наиболее перспективных видов были



Пастбища песчаной пустыни, обедненные вырубкой кустарника и чрезмерным выпасом, Каракумы.

Фото А. В. Гражданкина.

испытаны в культуре 259 видов растений. Наиболее ценными кормовыми растениями, отличающимися засухо- и солеустойчивостью, из деревьев и кустарников оказались: черный саксаул (*Haloxylon ammodendron*), белый саксаул (*H. persicum*), 4 вида жузгуна (*Calligonum rubens*, *C. capricornis*, *C. microcarpum*, *C. sibiricum*), 2 вида черкеза (*Salsola richardsonii*, *C. palmeriana*), хвойник шишконосный (*Ephedra strobilacea*), чогон (*Aellenia subaphylla*). Из полукустарников отлично развивались изень (*Kochia prostrata*), кейреук (*Salsola orientalis*), 5 видов полыни (*Artemisia baghys*, *A. kemrudica*, *A. turanica*, *A. diffusa*, *A. halophila*), тереккен (*Eurotia coratoides*), камфоросма (*Camphorosma*

lessingii), сингрен (*Astragalus unifoliolatus*), а также 8 видов многолетних и 8 видов однолетних трав.

Пустынные кустарники и полукустарники прошли длинный путь эволюции и адаптации к экстремальным условиям аридной зоны. Поэтому даже при незначительном улучшении условий жизни (распашка и заделка семян в почву) растения хорошо всходят и развиваются. Формируются фитоценозы из растений, надземные и подземные части которых размещаются на различном уровне: над почвой до высоты 2—5 м и в почве до глубины 15 м. Искусственные фитоценозы — пастбища, характеризуются высокой урожайностью, долговечностью, засухоустойчивостью.

Местные кустарники и полукустарники в культуре проявляют ценные биологические свойства: сокращается продолжительность ювенильного периода (от всходов до плодоношения); дружно и быстро формируются надземные части и корневые системы; рано вступают в генеративную фазу (начинают плодоносить на 3—4 года

раньше, чем в природе, а нередко и с первого года) и обильно плодоносят почти ежегодно.

Наряду с кустарниками и полукустарниками, очень важно формирование и травяного покрова. Травы иногда включаются в состав высеваемых смесей, но преимущественно разрастаются из имеющихся в почве корневищ и семян. Таким образом, растительный покров на искусственных пастбищах многоярусный, что дает урожай разнообразных полноценных под-

ножных кормов значительно выше, чем на природных пастбищах.

УЛУЧШЕНИЕ ПАСТБИЩ В ПРЕДГОРНОЙ ПУСТЫНЕ

Пастбища предгорной зоны в Средней Азии (главным образом травяные и полынно-травяные) занимают свыше 15 млн га. Травы в конце весны высыхают, легко обламываются и уносятся ветром, урожай и питательность пастбищных кормов резко

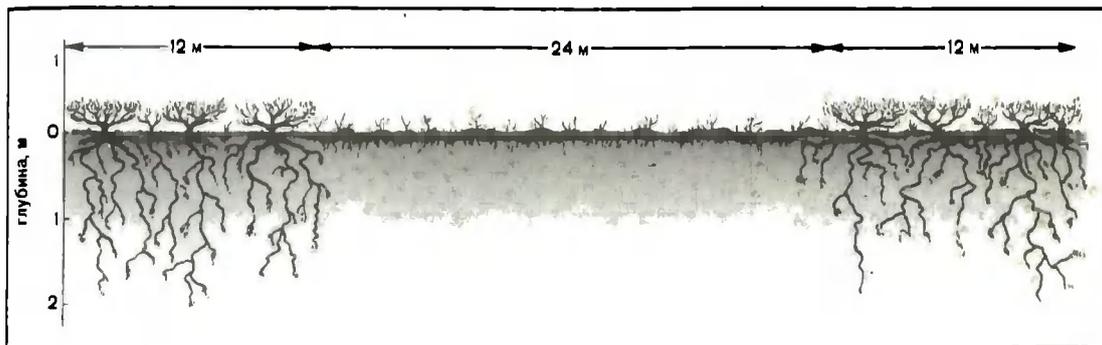


Схема улучшения пастбищ путем распашки полос и посадки в них семян кустарников.

Полынки при полосной распашке в возрасте 7 лет (совхоз «Кала-и-Мор», ТуркмССР).

Фото Н. Т. Нечаевой.



снижаются. Зимой снег нередко засыпает сохранившиеся низкорослые травы, и они становятся недоступными для овец. Поэтому зимой в кормовом балансе каракулевых хозяйств создается весьма напряженное положение.

Необходимость высокоурожайных осенне-зимних пастбищ в предгорной зоне диктуется также зоотехническими требованиями — каракульские овцы нуждаются в большем разнообразии пастбищных кормов, чем другие животные. Для созда-

ния осенне-зимних, а в случае необходимости и летних, пастбищ применяли полосу распашку пастбищ, сбитых (обедненных) нерациональной вырубкой и заготовкой на корм и топливо кустарников и полукустарников, а также чрезмерным выпасом скота.

Приведем пример улучшения растительного покрова пастбища. Целина с травяной осоково-мятливковой растительностью, где урожаем кормов составляет в среднем 5 ц/га, была распашана полоса-

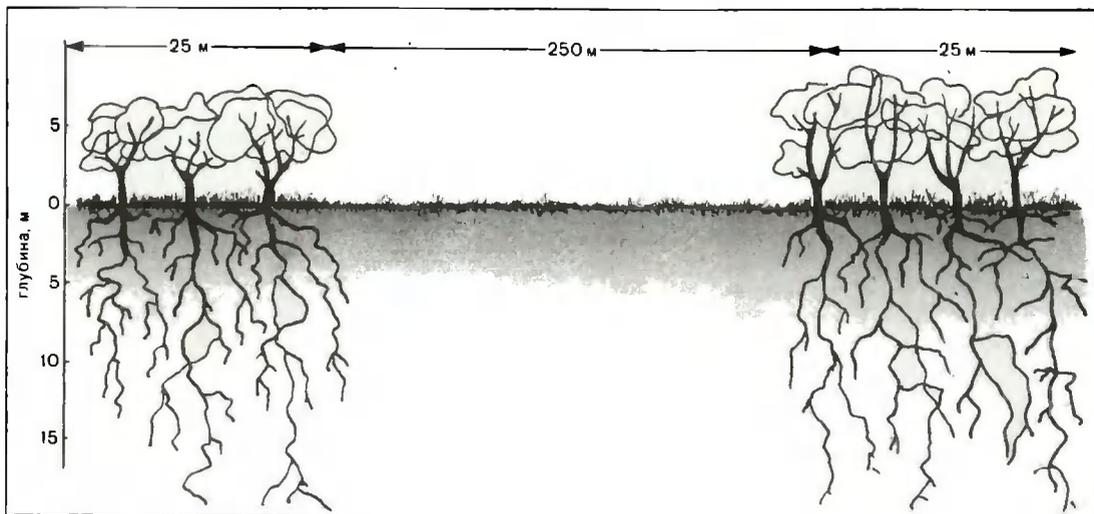


Схема размещения защитных пастбищных полос из крупных кустарников.

Под «зонтом» из черного саксаула.

Фото Н. Т. Нечаевой.



ми, и на них посеяны кустарник чогон и полукустарник полынь бадхызская. В первый год всходы были еще малы, а растущие здесь ранее травы угнетены распашкой. На второй-третий годы подросли посеянные кустарники и полукустарники и пышно разрослись однолетние, а затем и многолетние травы (осока и мятлик). Новые растительные группировки формировались довольно быстро: с 2—3 лет складываются основные сообщества, дающие достаточно высокий урожай кормов. Пастбища становятся пригодными к использованию. Урожай кормов на полосе в возрасте трех-четырех лет (при выпасе) уже вдвое превышал урожай на контрольной площади (целине), а в шесть-семь лет достиг 23 ц/га, т. е. превысил урожай на целине в 4,5 раза.

Только за счет использования вскрытых резервов окружающей среды (без дополнительного увлажнения и не вводя удобрения) при распашке получена фитомасса растений, почти в 8 раз превышающая природные целинные пастбища. На улучшенных пастбищах урожай кормов увеличился втрое, и кустарники дали топливо, что очень важно для жизни в этих безлесных районах.

В совхозе «Карнаб» УзССР получены отличные урожаи (10—51 ц/га кормов) в результате посева полукустарников (изеня) при сплошной распашке, в то время как в контроле на природных полынно-травяных пастбищах урожай кормов составлял только 3 ц/га.

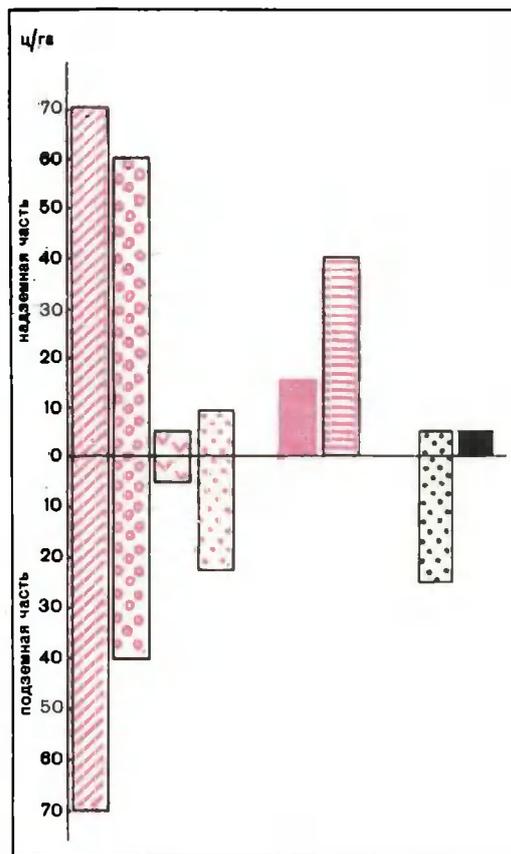
На улучшенных пастбищах в отличие от природных снег не засыпает кустарники и полукустарники, скот находит на них достаточное количество кормов в любой сезон года. Но особенно ценны эти пастбища зимой, когда на природных пастбищах остается лишь 1—1,5 ц/га кормовой массы. В условиях более хорошего увлажнения при распашке растения лучше противостоят засухе, урожай на искусственных пастбищах бывает удовлетворительным и в засушливые годы.

Искусственные пастбища по внешнему виду, структуре и урожайности выгодно отличаются от природных. Это густые заросли в виде полос или массивов, оживляющие однообразный ландшафт пустыни.

СОЗДАНИЕ ПАСТБИЩЕЗАЩИТНЫХ ПОЛОС В ПРЕДГОРЬЯХ

Пастбищезащитные полосы в пустыне вдвое (по сравнению с открытым паст-

бищем) снижают скорость ветра, задерживают снег и защищают почву от дефляции и иссушения. В самой полосе и на сопредельных участках повышается относительная влажность воздуха. В результате создаются более благоприятные условия для получения высоких урожаев однолетних трав. Видовой состав однолетней растительности в лесополосах становится вдвое разнообразнее, и травостой втрое гуще, чем на естественных пастбищах, вследствие чего

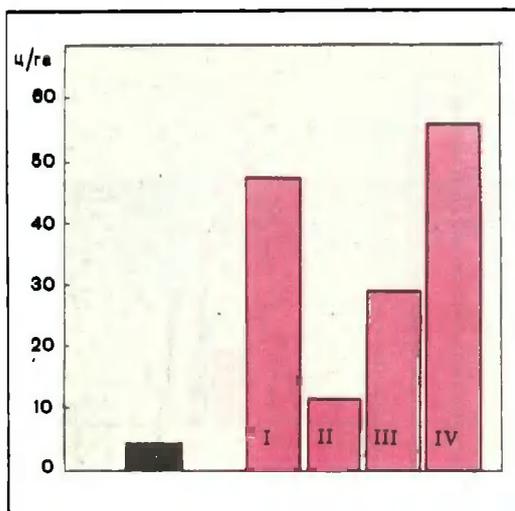


Продуктивность полынного чогонника (возраст 7 лет) при полосной распашке, совхоз «Кала-и-Мор», ТуркмССР (черным цветом показан контроль).



урожай кормовой массы весенних трав повышается в 2—3 раза.

Черный саксаул при распашке растет быстрее, чем в природе. К концу первого года жизни он имеет рост 0,5 м, пятого—2 и к концу десятого года—5,5 м. Важная биологическая особенность черного саксаула — формирование разветвленной и глубокой корневой системы, проникающей в возрасте одного года до 1,5 м, в четыре — до 12—14 и в десять лет до 16 м. Черносаксауловые полосы благопри-



Урожай кормов на улучшенных пастбищах при сплошной распашке, совхоз «Карнаб» УзССР: I — черносаксаульники и изенники; II — черносаксаульники и полыньки; III — черносаксаульники, изенники и чогиники; IV — изенник (черным цветом показан контроль).

ятно влияют на урожай сопредельных пастбищ, на расстоянии до 100 м от полосы он повышается на 25%. Черный саксаул — хорошее кормовое растение для зимы, особенно охотно скот ест его плоды. Он дает 10 ц/га кормов и 2—3 ц/га плодов. При сильных ветрах, в летнюю жару и в зимнюю непогоду защитные полосы служат укрытием для овец. Пастбищезащитные полосы удваивают урожайность пастбищ. Если на 100 га полыннотраверных пастбищ до улучшения содержалось 25—30 овец, то при наличии саксауловых полос стало возможным выпасать 50—60 голов. Закладка таких полос перспективна в условиях различных типов пустынь и в полупустынях.

УЛУЧШЕНИЕ ПАСТБИЩ ПУСТЫНИ КАРАКУМ

Пастбища песчаной пустыни возле населенных мест, транспортных магистралей и водопойных пунктов обеднены в связи с перевыпасом и особенно с вырубкой крупных кустарников и полукустарников на топливо и другие хозяйственные нужды. В результате эти пастбища из круглогодичных превратились в бедные сезонные. Вокруг колодцев образовались барханные пески, почти лишенные растительности в радиусе 1,5—3 км. Здесь не только нет корма, но пески препятствуют подгону овец к водопою, засыпают колодцы.

Для восстановления пастбищ необходимо вносить в почву семена. Из местной флоры отобраны перспективные виды песколюбивых растений и разработана агротехника их выращивания в сложных условиях расчлененного рельефа и подвижности песков.

Применялась и особая подготовка семян к посеву. Семена погружали в густой раствор из песка и глины, а затем вынимали и просушивали. Образовались тяжелые комочки — гранулы, которые после высева не выдувались, а приставшие к семенам частицы глины способствовали хорошему питанию всходов в первые дни их жизни.

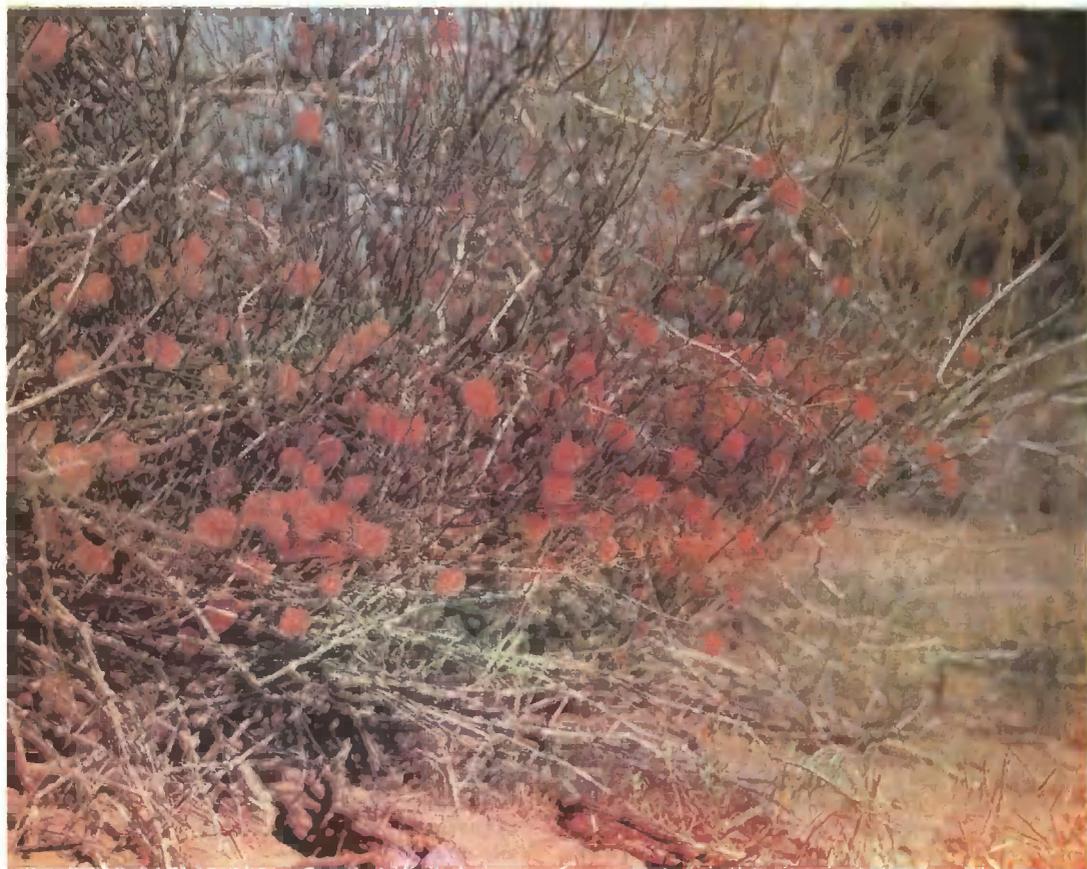
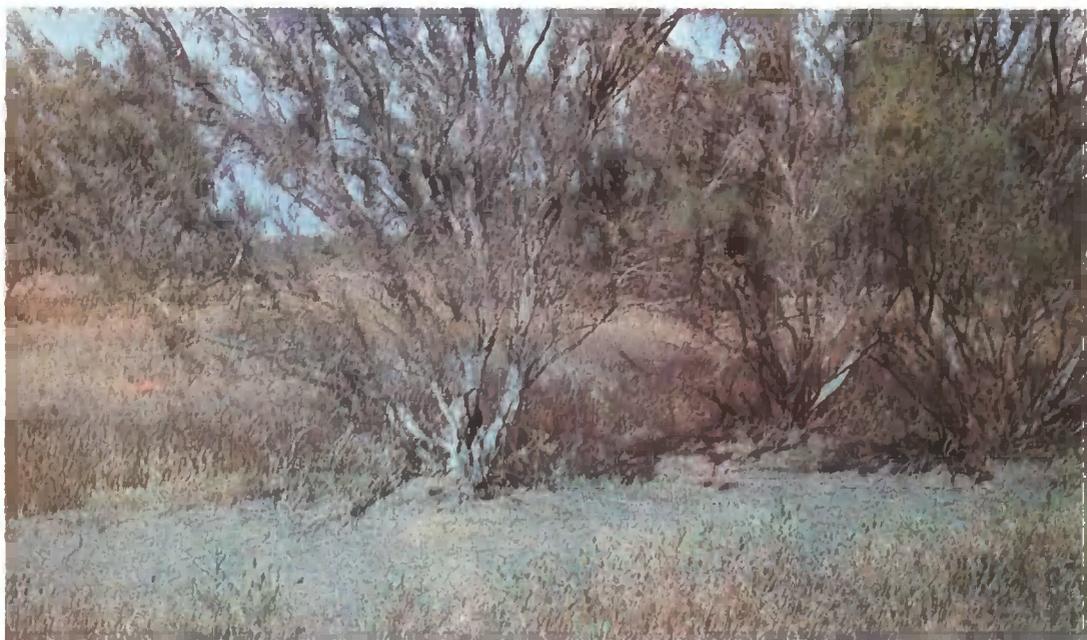
До улучшения пастбищ на высоких песчаных грядах произрастал только селин Карелина (*Aristida karelinii*). Вся фитомасса (надземная и корни) составляла 25 ц/га. Продуктивность грубых кормов из селина, пригодных только зимой при отсутствии другого корма, составляет 2 ц/га. Практически барханы как пастбища не использовались. После подсева белого саксаула общая фитомасса к 10 годам возросла до 54 ц/га и пески перестали двигаться. Количество кормов возросло до 6 ц/га. Видовой состав растительности стал разнообразным: преобладает разросшийся белый саксаул, а из трав — многолетники (гелиотроп, турнефорция) и однолетники. По мере закрепления песков селин стал

Посадки черносаксаульника в предгорьях Бадкыза (вверху).

Фото Н. Т. Начаевой.

Искусственные посевы кандыма на барханных песках, Каракумы.

Фото А. В. Гражданкина.



Структура фитомассы и урожайность пастбищ Каракумов (ц/га) до и после улучшения, возраст 10 лет

Показатель	До улучшения	После улучшения
Высокогорядовые барханные пески		
Растительная группировка	Разреженный селинник	Гунейковый белосаксаульник
Вся фитомасса:	25	54
надземная часть	10	33
подземная часть	15	21
Хозяйственная ежегодная продукция:		
корм	2	6
топливо	нет	8
Мелкобугристые барханные пески		
Растительная группировка	Аммотамнусовый селинник	Смешанный саксаульник
Вся фитомасса:	30	80
надземная часть	12	36
подземная часть	18	44
Хозяйственная ежегодная продукция:		
корм	2	8,5
топливо	нет	10

отмирать. Весьма ценно, что в результате обсеменения саксаула (плодоносит с пяти лет) появляется молодой подрост, обеспечивающий длительное (а практически постоянное) существование сформировавшихся пастбищ.

Сильно разбитые мелкобугристые пески с разреженной растительностью из аммотамнуса и селина улучшали подсевом смеси различных кустарников — черного саксаула, белого саксаула, хвойника шишконосного (эфедры), чогона, черкеза. За 5—10 лет формируется богатый кустарниково-травяной растительный покров из разнообразных видов растений с урожаем кормов 8,5 ц/га (до улучшения 3 ц/га плохих кормов).

Некоторые кустарники развиваются и растут быстро и начинают плодоносить с 2—3 лет. Саксаулы, хвойник в первые годы растут медленно, так как в это время у них развивается глубокая хорошо разветвленная корневая система. К пяти годам рост их заметно ускоряется, растения начинают плодоносить. Формируется и травяной покров, играющий большую роль в рационе скота и закреплении песков. Пастбища на мелкобугристых песках можно использовать уже с пятилетнего возраста. Эти пастбища особенно ценны зимой.

На закрепленных травяной растительностью песках, где кустарники и полукустарники уничтожены нерациональной вырубкой, пастбища улучшают путем полосной распахивки или полосного боронования.

Улучшенные массивы характеризуются более разнообразными кормами, они пригодны к использованию в любой сезон года. Урожай кормов за счет посева кустарников и более интенсивного развития природных трав на разрыхленных задернелых песках уже в возрасте трех-четырёх лет удваивается по сравнению с тем, который был до улучшения. В 3—4 раза увеличивается и общая биомасса (надземной и подземной частей) растений, что способствует хорошей закреплённости песков и устойчивости растительного покрова при выпасе.

Распахивка или боронование наиболее целесообразны на песках, граничащих с подгорными равнинами, отличающимися менее расчлененным рельефом, удобным для механизированной обработки.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ПАСТБИЩ

Искусственные пастбища не нуждаются в дополнительной обработке почвы, и уход за ними, как и за природными, заключается в рациональном их использовании.

Важно начать своевременную эксплуатацию искусственных пастбищ. Если они созданы из скороспелых, быстро развивающихся растений (чогон, полынь, изень), то нужно начинать стравливать их на второй-третий год, а если из медленно развивающихся (саксаул, борджок), то на



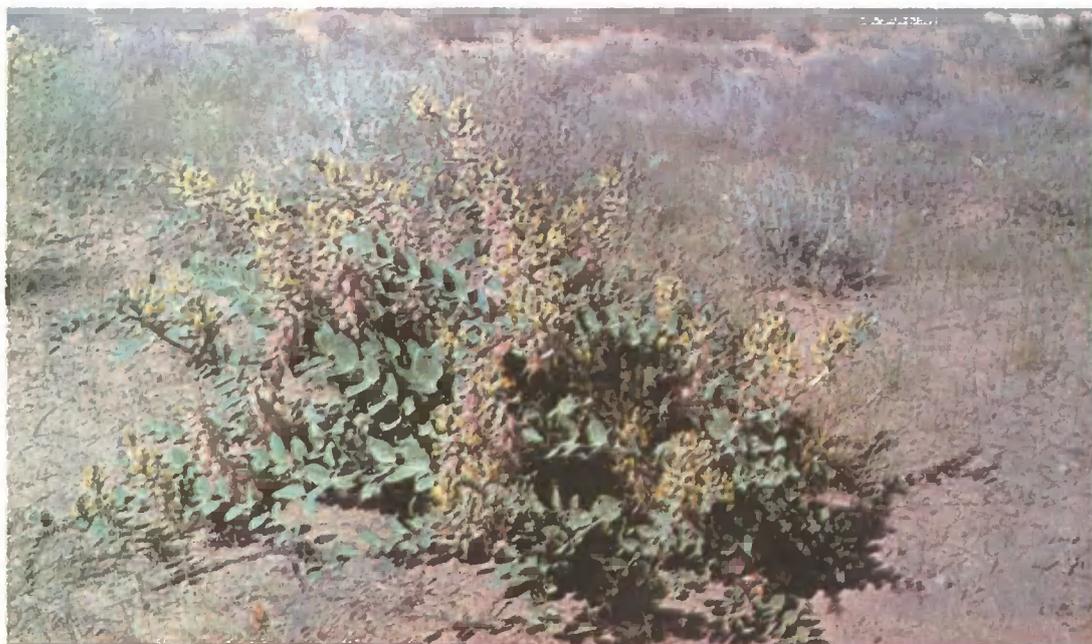
Высокогрядовые приколодезные пески с разреженным селином до и после посадки белого саксаульника, Центральные Каракумы (в в е р х у).

Мелкобугристые разбитые пески до и после подсева семян смеси кустарников, Центральные Каракумы (в н и з у).

Фото Н. Т. Мечавой.

третий-четвертый, когда растения окрепнут. Скусывание побегов молодых кустарников и полукустарников при умеренной нагрузке обеспечивает формирование низкорослых кустов, доступных для овец. Такие ветвистые невысокие кустарники дают больше кормовой массы и удобны для скота.

Искусственные пастбища можно скармливать с умеренной нагрузкой еже-



Растения, используемые для улучшения пустынных пастбищ. Астрагал Махимова (вверху).

Фото Н. Т. Нечаевой.

Ревень туркестанский.

Фото А. В. Гражданкина.

годно, так как умеренное объедание молодых веток не приносит вреда.

Трехлетнее изучение влияния выпаса овец на отдельные виды кустарников и полукустарников показало, что объедание годичных побегов зимой на длину, превышающую их естественное отмирание, способствует повышению урожая кормов на следующий год. На оставшихся частях побегов пробуждаются спящие почки, и в последующие годы образуются молодые побеги в большем количестве, чем в контроле.

Умеренный выпас благоприятен для всех пастбищных растений, так как у кустарников отщипывается часть побегов, ослабляется интенсивность плодоношения, что предотвращает старение растений. Таким образом, продолжительность жизни и срок службы искусственных фитоценозов (пастбищ) увеличивается. Крупные кустарники становятся низкорослыми, приобретают «пастбищную форму».

При умеренном выпасе уменьшается загущенность травостоя, а заталпывание семян в почву обеспечивает хорошее возобновление растений. Поэтому умеренное стравливание оказывает положительное воздействие на искусственные пастбища.

Современная техническая оснащенность совхозов и колхозов аридной зоны позволяет осуществлять на практике и делает выгодными мероприятия по улучшению пастбищ и созданию пастбищезащитных лесных полос.

Срок окупаемости капитальных вложений на создание искусственных пастбищ — 4—5 лет. После возмещения затрат пастбища в течение 20—35 лет сохраняют высокую продуктивность и используются без дополнительных затрат. В настоящее время на полосной распашке заложены пастбища из кустарников и полу-

кустарников на площади 1,4 млн га в Туркменистане и на 1,6 млн га в Узбекистане.

Таким образом, экологический подход к решению проблемы обогащения пустынных пастбищ и широкие научно-производственные эксперименты на больших площадях убедительно подтвердили практическую возможность резкого повышения продуктивности пустынных пастбищ, восстановления растительного покрова на испорченных нерациональным использованием пастбищных массивах и предотвращения процессов опустынивания в экосистемах в засушливой зоне Средней Азии.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Нечаева Н. Т., Приходько С. Я. ИСКУССТВЕННЫЕ ЗИМНИЕ ПАСТБИЩА В ПРЕДГОРНЫХ ПУСТЫНЯХ СРЕДНЕЙ АЗИИ. Ашхабад: Туркменистан, 1966.

Шамсутдинов З. Ш. СОЗДАНИЕ ДОЛГОЛЕТНИХ ПАСТБИЩ В АРИДНОЙ ЗОНЕ СРЕДНЕЙ АЗИИ. Ташкент: Фан, 1975.

Момотов И. Ф. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И МЕТОДЫ ФИТОМЕЛИОРАЦИИ ПУСТЫННЫХ ПАСТБИЩ ЮГО-ЗАПАДНОГО КЫЗЫЛКУМА. Ташкент: Фан, 1973.

Нечаева Н. Т., Шамсутдинов З. Ш., Мухаммедов Г. М. УЛУЧШЕНИЕ ПУСТЫННЫХ ПАСТБИЩ СРЕДНЕЙ АЗИИ. Ашхабад: Ылым, 1978.

Хаотическая динамика простых систем

А. В. Гапонов-Грехов, М. И. Рабинович



Андрей Викторович Гапонов-Грехов, академик, директор Института прикладной физики АН СССР. Радиофизик, автор основополагающих работ по новым типам электронных генераторов — мазеров на циклотронном резонансе, по теории нелинейных волн и нелинейных колебаний. Лауреат Государственной премии СССР.



Михаил Израилевич Рабинович, доктор физико-математических наук, заведующий сектором стохастических колебаний и турбулентности того же института. Радиофизик. Основные работы — в области нелинейных волн, теории турбулентности.

Как может быть динамика хаотической, да еще в простой системе? Ведь все наши интуитивные представления о хаотическом, случайном поведении связаны с действием внешних шумов или внутренних флуктуаций. Но в динамической системе ни шумов, ни флуктуаций нет, есть только полная детерминированность — алгоритм, который однозначно определяет поведение системы при заданных начальных условиях! Многие еще могли бы согласиться с тем, что хаотическая динамика возможна в очень сложных системах — системах с очень большим числом степеней свободы (например, для молекул в газе). Здесь случайность связана просто с неполным зна-

нием: мы никогда не можем абсолютно точно задать начальные условия для всех переменных (для 1 см^3 газа этих данных должно быть $6 \cdot 10^{19}$ — три составляющих скорости и три координаты для каждой молекулы) и потому просто нет иной возможности, как перейти к усредненному (неполному) статистическому описанию. Но «если бы мы могли задать все начальные условия и все бы вычислили, то предсказали бы поведение даже очень сложной системы на сколь угодно большом интервале времени» — это и есть знаменитый лапласовский детерминизм.

Обнаружение и понимание того факта, что хаотическое, случайное поведение возможно даже в очень простых

динамических системах, явилось замечательным открытием современной науки. Сейчас эта проблема глубоко интересует гидродинамиков в связи с природой турбулентности, исследователей, прогнозирующих погоду, специалистов по химической кинетике и даже экономистов и социологов. Ведь с помощью динамических систем описываются самые разнообразные явления окружающего нас мира.

Чрезвычайно большую роль в развитии представлений о хаосе, или, как говорят, стохастичности динамических систем сыграли работы советских математиков Д. В. Аносова, А. Н. Колмогорова, Я. Г. Сина и физиков Г. М. Заславского, Б. В. Чирикова и др. Так, одним из наиболее важных шагов по преодолению традиционных представлений о том, что хаос возможен только в очень сложных системах, стало обнаружение в 1962 г. Я. Г. Синаем очень сильного статистического свойства — перемешивания в совсем уж простой динамической системе из двух шаров на бильярдном столе¹.

В этой статье мы расскажем об экспериментах, демонстрирующих появление хаоса в простых системах, расскажем, как можно представить себе этот хаос на языке геометрических образов, обсудим пути его возникновения и способы описания. Затем проиллюстрируем тот факт, что гидродинамическая турбулентность — это хаотическая динамика, и, наконец, рассмотрим связь хаотической динамики простых систем с обратной проблемой — возникновением порядка из беспорядка в сложных системах.

ЧТО НАЗЫВАЕТСЯ ХАОСОМ

В качестве ответа на этот вопрос обычно приводится какой-нибудь пример — броуновское движение частицы в газе или жидкости или движение шарика в рулетке: «Вот это настоящий хаос!». В дальнейшем под хаотическим поведением динамической системы мы будем понимать поведение, ничем не отличающееся от движения «истинно случайного», т. е. наблюдаемого в упомянутых примерах. Для рассматриваемых ниже хаотических движений простых систем также

характерны расцепление корреляций, сплошной энергетический спектр и другие, более тонкие признаки «истинной случайности».

Определяющим для возникновения настоящего, «хорошего» хаоса в детерминированных системах является взаимодействие образующих их элементов — подсистем (шаров в бильярде, молекул в газе и т. д.). Хотя достаточно сложное движение, и по некоторым признакам даже неотличимое от случайного, может наблюдаться в течение длительного времени и при отсутствии взаимодействия. Такое движение (со спадающими корреляциями) возможно, если невзаимодействующих элементов очень много и мы наблюдаем за эволюцией их суммарного поведения. Рассмотрим, к примеру, N независимых часов, стрелки которых обходят циферблат за несоизмеримое время (все они спешат или опаздывают по-разному). Если достаточно долго подождать с момента, когда показания часов совпадали, то среднее время, показываемое ими, будет вести себя очень регулярно. Такие усредненные часы будут быстро «забывать» время, показанное прежде. Это «забывание» можно оценить количественно, если вычислить так называемую корреляционную функцию, характеризующую, насколько процесс воспроизводится во времени. Так, периодическому процессу соответствует периодическая (с тем же периодом) корреляционная функция. Чем быстрее забывается прошлое процесса, тем эта функция быстрее спадает во времени. Для наших «усредненных» часов она будет спадать тем быстрее, чем больше N (пропорционально $1/\sqrt{N}$). Однако если подождать еще дольше, то стрелки всех часов вновь покажут примерно одинаковое исходное время — корреляционная функция оказывается почти периодической. Время ожидания (период возврата Пуанкаре) оценивается как e^{aN} ($a \sim 1$). Спектр такой функции будет дискретным, поэтому хаотическое поведение усредненных часов не будет случайным (хаос «ненастоящий»).

Если же мы осуществим взаимодействие, например повесим все часы на тонкую упругую стенку, то реализуется одна из возможностей: либо часы взаимно синхронизируют друг друга² и установится ре-

¹ В следующем номере «Природы» будет опубликована статья Я. Г. Сина «Случайность, неслучайного».

² Недобросовестные часовщики пользовались этим явлением для обмана доверчивых клиентов еще в XVII в.

жим регулярных колебаний часов (и стенки), либо в результате разрушения почти периодического режима установится настоящий хаос — поведение со сплошным спектром. Сплошной спектр означает, что рассматриваемое движение не может быть представлено в виде набора (суммы) периодических движений с дискретными частотами. В движении, характеризуемом сплошным спектром, представлены всевозможные масштабы; это и отражает сложность движения.

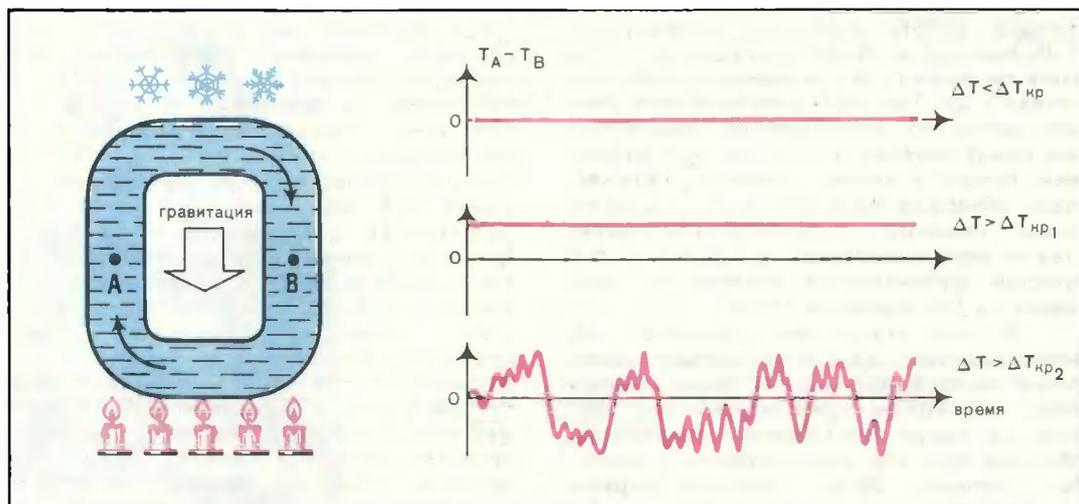


Рис. 1. Хаотические колебания жидкого маятника. Конвективная петля, подогреваемая снизу, и зависимость разности температур в точках А и В от времени при отсутствии конвекции (вверху), при стационарном вращении жидкости (в центре), при случайном вращении то в одну, то в другую сторону (внизу).

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ХАОСА В ПРОСТОЙ СИСТЕМЕ

Опишем один из экспериментов по конвекции в подогреваемом слое жидкости. Если возможные движения в слое ограничить стенками, например поместить жидкость (воду) в тонкую согнутую кольцом трубу — конвективную петлю (рис. 1), то всеми движениями жидкости поперек трубы можно пренебречь. При достаточной разности температур ($T_{\text{нижн}} - T_{\text{верхн}} = \Delta T > \Delta T_{\text{кр1}}$) более легкая, нагретая в основании петли часть воды поднимается вверх, заставляя остывшую наверху воду опускаться вниз. Таким образом, вся жидкость, почти

как твердое тело (поскольку все скорости здесь ничтожно малы по сравнению со скоростью звука, воду можно считать несжимаемой), будет вращаться внутри металлической оболочки. Эта механическая система очень проста — ее можно описать с помощью только трех переменных, зависящих от времени. Одна переменная характеризует скорость жидкости, и две — ее температуру. Для этих переменных получается система трех обыкновенных дифференциальных уравнений пер-

вого порядка (очень популярная сейчас система Лоренца). Казалось бы, чего можно ждать от движения в такой простой системе: жидкость, очевидно, будет непрерывно вращаться по илиз. против часовой стрелки, и все! Как показывает эксперимент, проведенный сравнительно недавно, это и наблюдается³. Однако, если подогревать петлю снизу несколько сильнее ($\Delta T > \Delta T_{\text{кр2}} > T_{\text{кр1}}$), ситуация заметно усложнится: водяное кольцо внутри петли будет менять направление своего вращения, причем эта смена направлений оказывается случайной во времени.

Этот результат можно качественно пояснить следующим образом. Допустим, в рассматриваемый момент времени жидкость движется по часовой стрелке. При достаточно большой разнице температур снизу и сверху петли (больше $\Delta T_{\text{кр1}}$) архимедова сила велика и водяное кольцо

³ Creveling H. F., Paz J. F. de, Bala-di J. Y., Schoenhals R. J. — J. Fluid. Mech., 1975, v. 67, № 1, p. 65.

ускоряется настолько, что остывший вверх жидкий объем, проскочив горячее основание и не успев нагреться, уже не дотягивает до верха петли и приостанавливается (архимедова сила недостаточна, чтобы преодолеть силу вязкости и гравитацию). При этом опускающаяся (правая) часть жидкости теплее и, следовательно, легче поднимающейся. В результате торможения кольца жидкость в его основании нагревается и всплывает, но уже в противоположном направлении — давление справа меньше, чем слева. Таким образом жидкость начинает раскручиваться против часовой стрелки. Затем все повторяется в обратном порядке. Как показывает эксперимент, при большом ΔT эти смены направлений оказываются случайными — величина нагрева единицы объема жидкости, скорость вращения кольца, его ускорение зависят от очень тонких деталей начального движения.

Вообще говоря, даже при большом ΔT может, в принципе, существовать режим вращения в одну сторону — жидкость медленно вращается и успевает остывать при прохождении через верхнюю часть петли. Соответствующее решение уравнений действительно существует, но оно не может реализоваться — любое малое отклонение скорости или температуры приведет к тому, что жидкость начнет ускоряться и установится нестационарный режим вращения, «то туда, то сюда», при котором число оборотов жидкого кольца в какую-либо сторону оказывается случайной величиной.

Приведем еще один эксперимент, несколько иной — когда стохастические колебания возбуждаются с помощью внешней периодической силы. Как известно, во многих задачах физики и техники периодическая сила используется для «навязывания» своего периода колебательной системе, или, как говорят, для вынужденной синхронизации системы. Обычно чем больше амплитуда вынуждающей силы, тем шире область параметров системы, в которой происходит синхронизация. Однако в колебательных системах, в которых частота колебаний существенно зависит от их энергии, например в нелинейных осцилляторах, возможны ситуации, когда с ростом амплитуды периодического воздействия режим синхронизации разрушается и нелинейный осциллятор под действием периодической силы начинает двигаться стохастически. Примером служит поведение шарика в желобе с двумя минимумами при периодическом горизонтальном кача-

нии желоба (рис. 2). Когда амплитуда качаний не слишком велика, шарик колеблется в одной из ямок. С ростом амплитуды он начинает периодически переходить из одной ямки в другую и, наконец, при дальнейшем увеличении внешней периодической силы число колебаний шарика в каждой ямке уже случайно, а последовательность этих чисел оказывается совершенно нерегулярной и не содержит никаких закономерностей. Подчеркнем, что желоб не обязательно должен иметь два

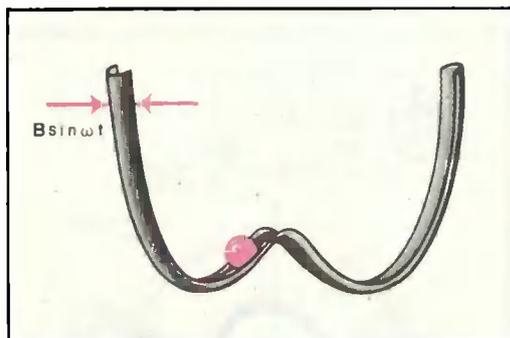


Рис. 2. Периодически возбуждаемый нелинейный осциллятор. При достаточно сильных периодических горизонтальных перемещениях желоба (в плоскости чертежа) число колебаний шарика в каждой из ямок будет случайной величиной.

минимума, он может быть устроен и более просто. Важно лишь, чтобы зависимость периода колебаний нелинейного осциллятора (шарика в желобе) от энергии колебаний была достаточно сильной⁴.

Каким же образом в таких простых динамических системах при отсутствии всяких случайных сил движение оказалось случайным? Ведь движения детерминированной системы предопределены формулой ее поведения (алгоритмом), например дифференциальным (или каким-нибудь другим) уравнением.

Ответ на этот вопрос, полученный физиками Н. С. Крыловым и М. Борном еще в 50-х годах, заключается в следующем: хаотичность поведения детерминированной системы определяется тем, что всякое (или почти всякое) ее движение неустойчиво. Будем говорить только о системах, в которых колебания или пульсации ограничены по амплитуде (движения финитны). Тогда ясно, что если малые

⁴ Стохастические колебания обнаруживаются, например, в неавтономном осцилляторе $\ddot{x} + k\dot{x} + x = B \sin \omega t$.

изменения начального состояния приводят к сколь угодно сильному расхождению исходного и возмущенного движений (а это и есть неустойчивость), то более поздние состояния системы фактически непредсказуемы, несмотря на полное знание закона движения. Подчеркнем, что установившееся сложное хаотическое поведение детерминированной системы с неустойчивыми индивидуальными движениями никак не зависит от начальной неточности задания начальных условий или статистики флуктуаций, приводящих в действие механизм

и гидродинамические течения, при описании которых нельзя пренебречь вязкостью.

Рассмотрим вначале геометрические образы простых периодических колебаний. Сделаем это на примере радиотехнического генератора с так называемым жестким возбуждением (рис. 3). Чтобы такой генератор начал выдавать незатухающие колебания постоянной амплитуды $A_{\text{стац}}$, его нужно подтолкнуть — возбудить начальным («жестким») сигналом, амплитуда которого больше некоторой критической величины $A_{\text{кр}}$. Уравнения, описывающие та-

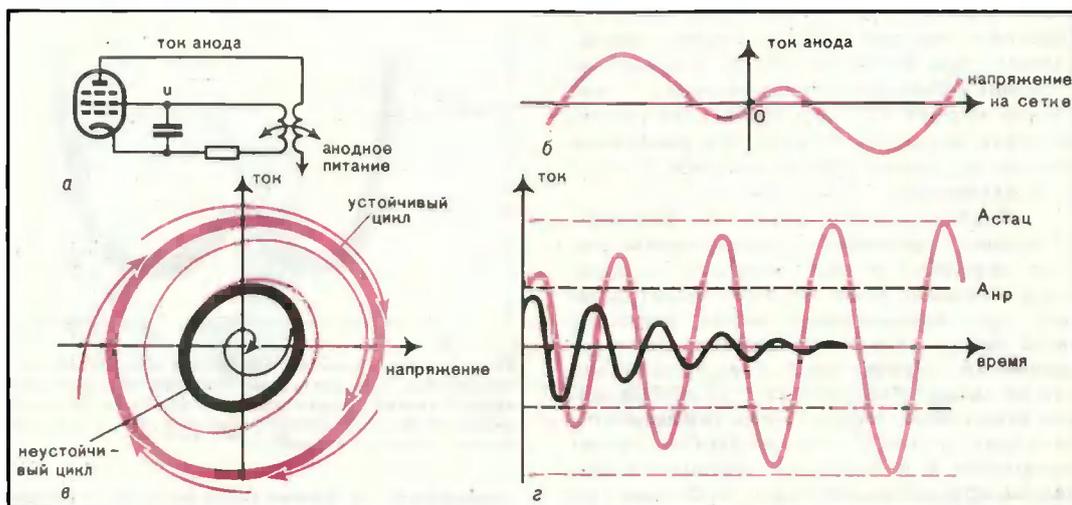


Рис. 3. Радиотехнический генератор с жестким возбуждением. Схема генератора (а); вольт-амперная характеристика электронной лампы (б); «фазовый портрет» генератора (в); неустойчивый цикл разделяет области притяжения к устойчивому состоянию равновесия (генерация нет) и к устойчивому циклу (генерация периодических колебаний); осциллограмма колебаний (г): при начальной амплитуде, меньшей $A_{\text{кр}}$, колебания затухают, при начальной амплитуде, большей $A_{\text{кр}}$, устанавливается стационарный режим.

неустойчивости. В этом смысле рассматриваемые детерминированные системы являются собственно генераторами хаоса, а не усилителями шума.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ ОБРАЗ ХАОСА

Ограничимся в дальнейшем детерминированными системами с диссипацией энергии (трением, вязкостью, сопротивлением и т. д.). В них диссипативные потери энергии в установившихся режимах поддерживаются за счет внешних источников. Именно такие примеры мы и рассматривали, к их числу относятся также

кой генератор, среди множества решений, соответствующих различным начальным условиям, имеют два периодических во времени решения — одно с амплитудой $A_{\text{кр}}$, другое с амплитудой $A_{\text{стац}}$. Реально же наблюдаемым установившимся колебаниям соответствует только второе. Первое — неустойчиво. Для устойчивых движений характерно затухание (или ненаращение) малых отклонений. На языке геометрических образов устойчивому периодическому движению в пространстве, каждая точка которого однозначно характеризует состояние системы (фазовое пространство), соответствует замкнутая кривая, на которую «наматываются» все соседние траектории. Неустойчивому же — замкнутая траектория (или орбита), от которой часть или все соседние траектории отталкиваются (уходят). Очевидно, что если в фазовом пространстве конкретной системы имеется единственная притягивающая орбита — периодический аттрактор⁵, то,

⁵ От англ. attract — привлекать, притягивать.

включив систему и подождав некоторое время, мы будем наблюдать регулярное периодическое поведение. Всегда имеющиеся в реальной системе флуктуации не могут качественно повлиять на характер движения, поскольку оно устойчиво. Они лишь несколько ухудшат качество колебаний — приведут к уширению их спектра. Если таких аттракторов несколько, то в зависимости от начальных условий установятся колебания, соответствующие одному из них.

Представим себе теперь, что в от-

раченной области фазового пространства, куда все траектории только входят (это область сама по себе аттрактор) вообще нет устойчивых траекторий. Как внутри такого аттрактора будет вести себя траектория? И возможен ли вообще аттрактор, внутри которого нет устойчивых траекторий? Возможен. Действительно, пусть притягивающая область заполнена неустойчивыми периодическими орбитами, которые по одному направлению притягивают к себе соседние траектории, а по другому отталкивают (в математике их на-

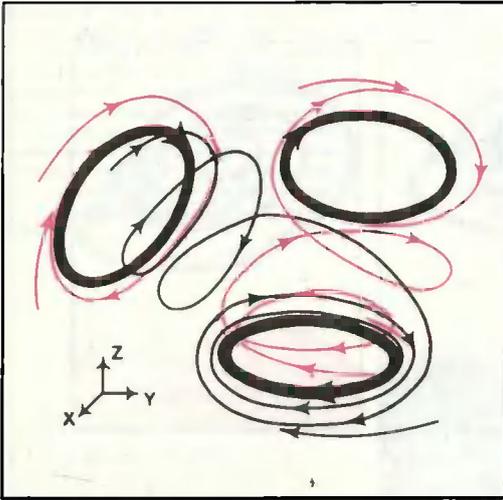


Рис. 4. Аттрактор из неустойчивых седловых циклов. Все близкие к аттрактору траектории притягиваются к нему, но внутри аттрактора все траектории неустойчивы.

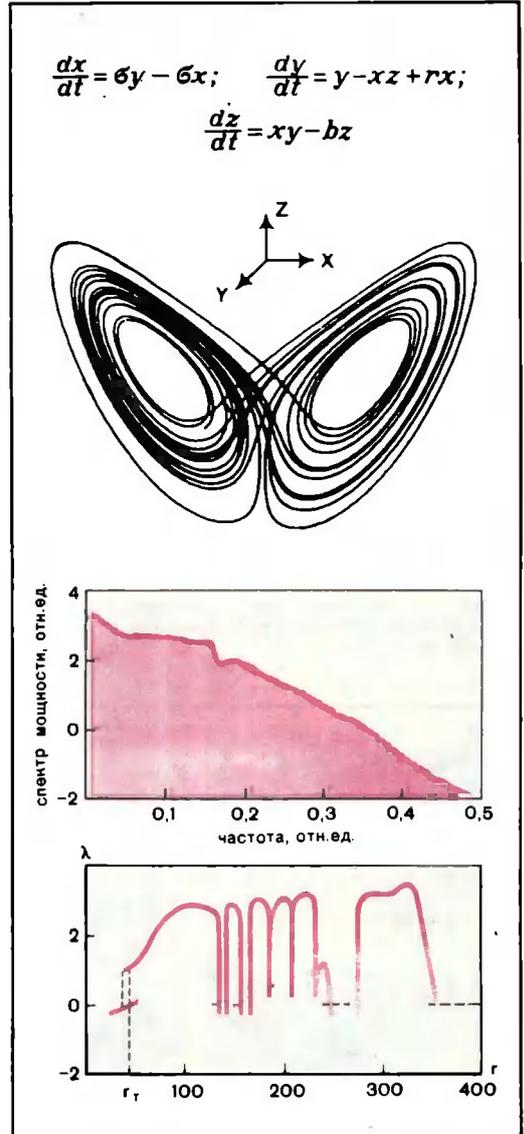


Рис. 5. Хаотическая динамика системы Лоренца. В уравнениях Лоренца величина $\gamma \sim (T_{\text{лини}} - T_{\text{верн}})$ (см. рис. 1). Фазовый портрет стохастического аттрактора при $\sigma=10$, $b=8/3$, $r=28$ (вверху). Спектр мощности колебаний на стохастическом аттракторе (в центре). Зависимость ляпуновской характеристической величины λ от надкритичности при $\sigma=16$, $b=4$ (внизу). Хаотический режим при больших γ и малых r возникает совершенно порозному — при уменьшении r от 400 стохастический аттрактор возникает в результате последовательных удвоений периода цикла (см. рис. 9); при увеличении r от 20 стохастичность появляется жестким образом.

зывают седловыми циклами). Конечно, такое возможно лишь в системах, у которых размерность фазового пространства не меньше трех, так как на фазовой плоскости из неустойчивых циклов невозможно сконструировать притягивающее образование — аттрактор. В трехмерном же пространстве можно организовать конструкцию из седловых циклов таким образом, что все траектории внутри области с одних циклов стремятся к другим, для внешних же траекторий «видны» только устойчивые направления этих циклов. Ясно,

что такая конструкция уже может быть аттрактором (рис. 4). Внутри такого аттрактора траектория, соответствующая установившемуся поведению детерминированной системы, непрерывно бродит между неустойчивыми орбитами, приближаясь к ним по одному — устойчивому — направлению и отдаляясь по другому — неустойчивому. Картина таких установившихся колебаний выглядит чрезвычайно сложно и нерегулярно, поэтому сам аттрактор называют стохастическим, или странным.

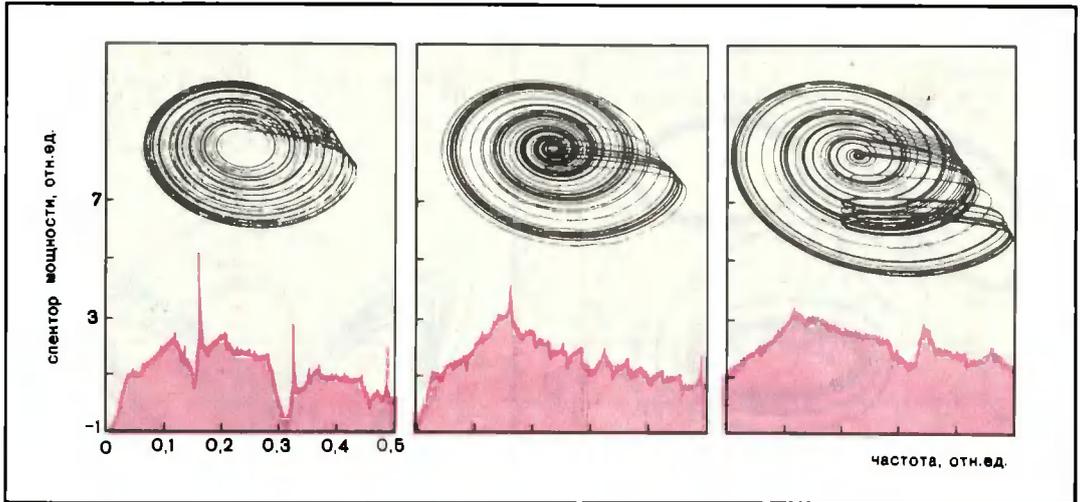
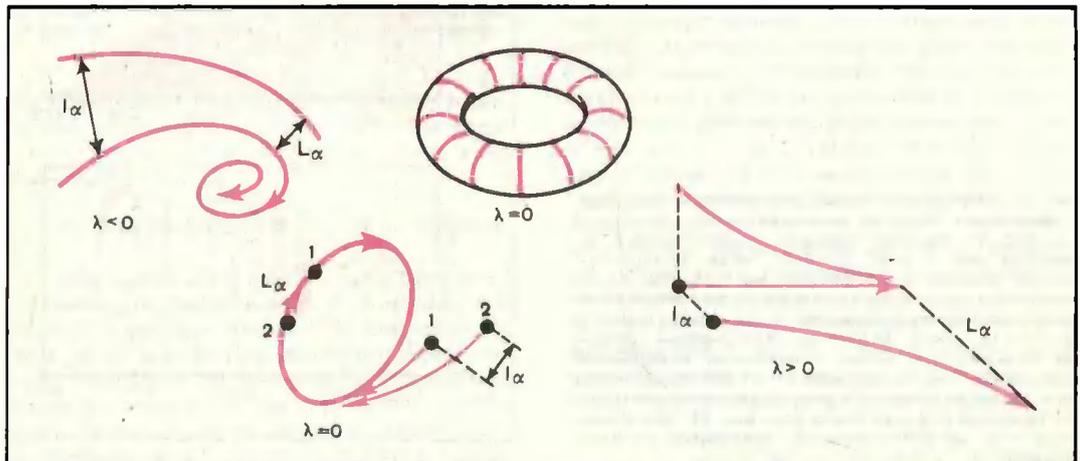


Рис. 6. Исчезновение дискретных составляющих в спектре мощности двучастных колебаний по мере усложнения аттрактора. Результаты заимствованы из работы Д. Фармера, Дж. Крушфильда, Х. Фрелинга, Н. Паркарда и Р. Шоу [Калифорнийский университет, США].

Рис. 7. Ляпуновские характеристические показатели. Слева направо: для устойчивого состояния равновесия [$\lambda < 0$]; устойчивой периодической орбиты [$\lambda = 0$]; тора [$\lambda = 0$]; седловой траектории [$\lambda > 0$].

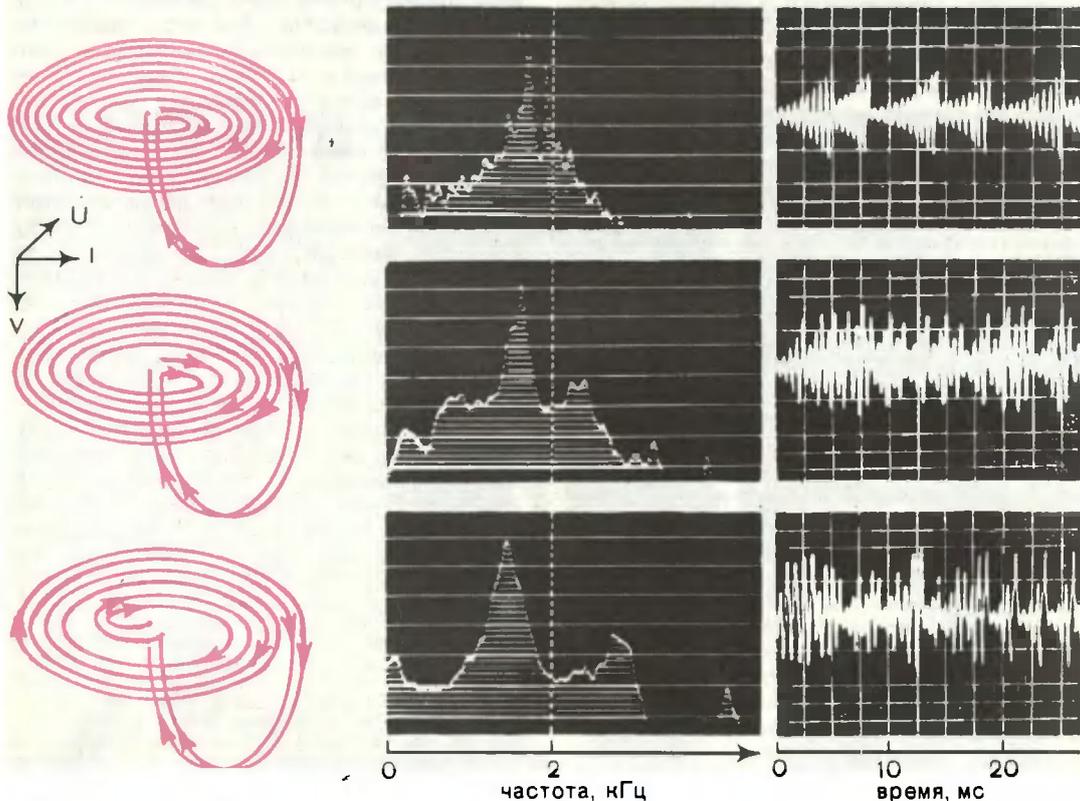
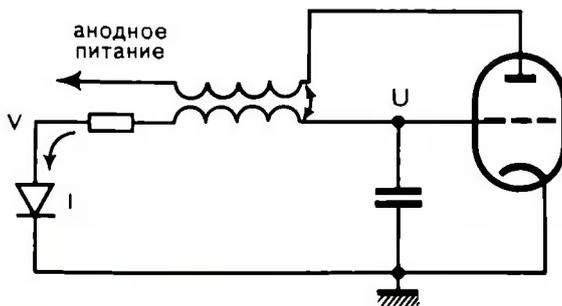


КАЧЕСТВО ХАОСА. ПАРАМЕТР БЕС-ПОРЯДКА

Читателя, впервые знакомящегося с данным предметом, по-видимому, не покидает возникший с самого начала вопрос: где же все-таки в таком «искусственном» хаосе спрятано его детерминированное (алгоритмизированное) происхождение? Ведь простого взгляда на фазовый портрет странного аттрактора (см., например, рис. 5 и 6) достаточно, чтобы обнаружить регулярность (порядок!) в его структуре.

Почему же этот порядок не отражается на свойствах хаоса? Оказывается, отражается. И хаос бывает более упорядоченный и менее упорядоченный. Как и в статистической физике, параметр, характеризующий меру неупорядоченности движения здесь (в теории динамических систем) называют энтропией. Прежде чем ввести ее определение, заметим, что движение на странном аттракторе, содержащем бесконечное число неустойчивых циклов близкого периода, расположенных рядом друг с другом, будет не слишком хаотиче-

Рис. 8. Простой радиотехнический генератор хаоса. Показаны принципиальная схема и фазовые портреты аттракторов (слева), спектры мощности (в центре) и осциллограммы колебаний (справа), «выдаваемых» генератором при увеличении скорости разбегания траекторий (увеличении надкритичности). I — ток в контуре; U — напряжение на конденсаторе; V — напряжение на туннельном диоде.



ским — разнообразие движений здесь совсем невелико (рис. 6). Спектр соответствующих колебаний хотя и сплошной, но в нем имеется выраженный пик на частоте $1/T$, где T — характерное время оборота по аттрактору. Физик бы сказал, что в этих колебаниях имеется фазовая когерентность. Если же внутри аттрактора широко представлены циклы самых разных периодов, то разнообразие движений будет несравненно большим и спектр колебаний окажется более равномерно размазанным как, например, для аттрактора Лоренца (рис. 5). По существу, именно эти соображения лежат в основе определения топологической энтропии, характеризующей разнообразие типов движения детерминированной системы с помощью формулы:

$$h = \lim_{m \rightarrow \infty} \log \frac{k_m}{m},$$

где k_m — число циклов периода, меньшего m . Видно, что если величина h положительна, то число циклов k_m растет экспоненциально с ростом m . Если движение вполне упорядоченное, например периодическое или квазипериодическое (незамыкающаяся намотка тора, рис. 7), то энтропия равна нулю. Для стохастического движения энтропия строго положительна — разнообразие циклов бесконечно. Таким образом, эта формула объясняет, почему энтропия служит мерой хаоса.

В эксперименте реальном или численном — измерить энтропию, конечно, нельзя. Однако во многих случаях (когда внутри аттрактора отсутствуют устойчивые циклы) энтропия связана со средней скоростью разбегания близких траекторий λ , так называемой ляпуновской характеристической величиной. Эту же величину можно измерить и в реальном, и в численном экспериментах. Для этого нужно вычислить среднее вдоль траектории отношение L_a/I_a (рис. 7), где I_a — начальное расстояние между траекториями в направлении a , а L_a — расстояние между ними в этом же направлении через небольшое время t . Чем сильнее разбегаются траектории, т. е. чем больше энтропия, тем шире спектр стохастических колебаний. Это поясняет рис. 8, где представлены осциллограммы, спектры и фазовые портреты аттракторов для простого радиотехнического генератора шума при разной степени разбегания траекторий (величине диссипации в контуре генератора)⁶. Когда разбегания траекторий нет — все они притягиваются к устойчивому циклу — энтропия равна нулю и генератор выдает периодические коле-

бания (спектр дискретный и эвидистантный). Таким образом, в одной и той же системе степень неупорядоченности движения — «качество» хаоса — существенно зависит от параметров, т. е. от условий, в которых эта система функционирует.

ПУТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ХАОСА. УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ

При переходе системы от режима периодических колебаний к стохастическому энтропия резко, скачком меняется от нуля до некоторой положительной величины⁷ (ляпуновская величина λ при этом проходит через нуль, обращаясь из отрицательной в положительную, рис. 5). Что происходит при этом в фазовом пространстве системы, как возникает стохастический странный аттрактор? Пути возникновения хаоса могут быть разные⁸. Один из них, пожалуй, наиболее распространенный среди простых систем, заключается в следующем. Пусть система работает в периодическом режиме — в фазовом пространстве устойчивый цикл, и мы изменяем параметр системы (обозначим его C) таким образом, что периодический режим теряет устойчивость. При этом нарастают возмущения какого-либо определенного типа. Во многих случаях периодический режим оказывается наиболее неустойчивым к периодическим же возмущениям удвоенного периода (у них наибольшая скорость роста). Вспомним, что качели быстрее всего начнут раскачиваться (возмущения с периодом T будут нарастать), если качающийся будет приседать с периодом $T/2$. Геометрически в фазовом пространстве системы этому соответствует рождение вблизи исходного цикла нового — двухоборотного цикла. Этот цикл удвоенного периода становится аттрактором, а исходный теряет устойчивость (рис. 9). Затем с ростом C этот двухоборотный цикл сам становится неустойчивым — рождается устойчивый четырехоборотный цикл и т. д. Причем интервал изменения параметра C , внутри которого

⁶ Подробнее см.: Княшко С. В., Пиковский А. С., Рабинович М. И. Радиотехника и электроника, 1980, т. 25, № 8, с. 336.

⁷ Здесь имеется глубокая аналогия с фазовыми переходами (см., напр.: Хакен Х. Синергетика. М.: Мир, 1980).

⁸ Один из возможных механизмов предложен горьковскими математиками В. С. Афраймовичем, В. В. Быковым и Л. П. Шильниковым для системы Лоренца, см. также сноску 1.

устойчив цикл периода 2^n , быстро сужается с ростом C — точки рождения многооборотных циклов сгущаются к критическому значению параметра $C_{кр}$. В итоге при $C > C_{кр}$ внутри ограниченной притягивающей области фазового пространства — аттрактора — окажется бесконечное число неустойчивых циклов разных периодов, в том числе и бесконечного: $T_{\infty} = 2^{\infty}$. Стохастический аттрактор рождается сразу вслед за этим сложным образованием.

Как недавно выяснилось, последовательность удвоений обладает свойством универсальности⁹, не зависящим от конкретных особенностей системы и во многих случаях даже от размерности фазового пространства. Эта универсальность заключается в следующем: расстояние между значениями параметра C_n , при котором рождается цикл периода 2^n ,

⁹ Это обнаружил американский физик М. Фейгенбаум.

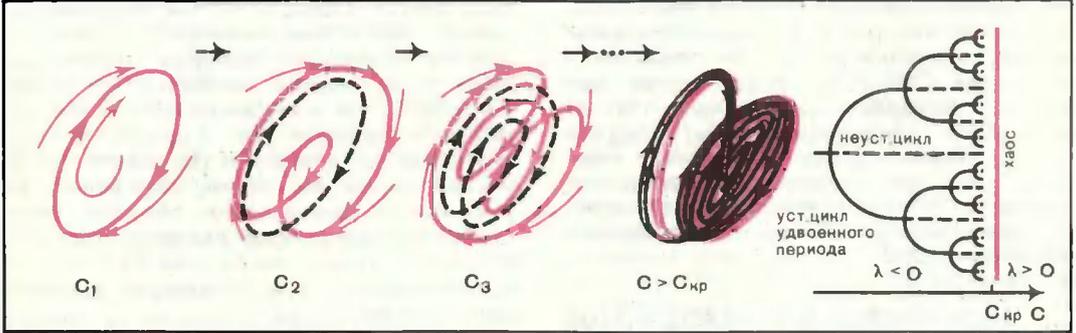
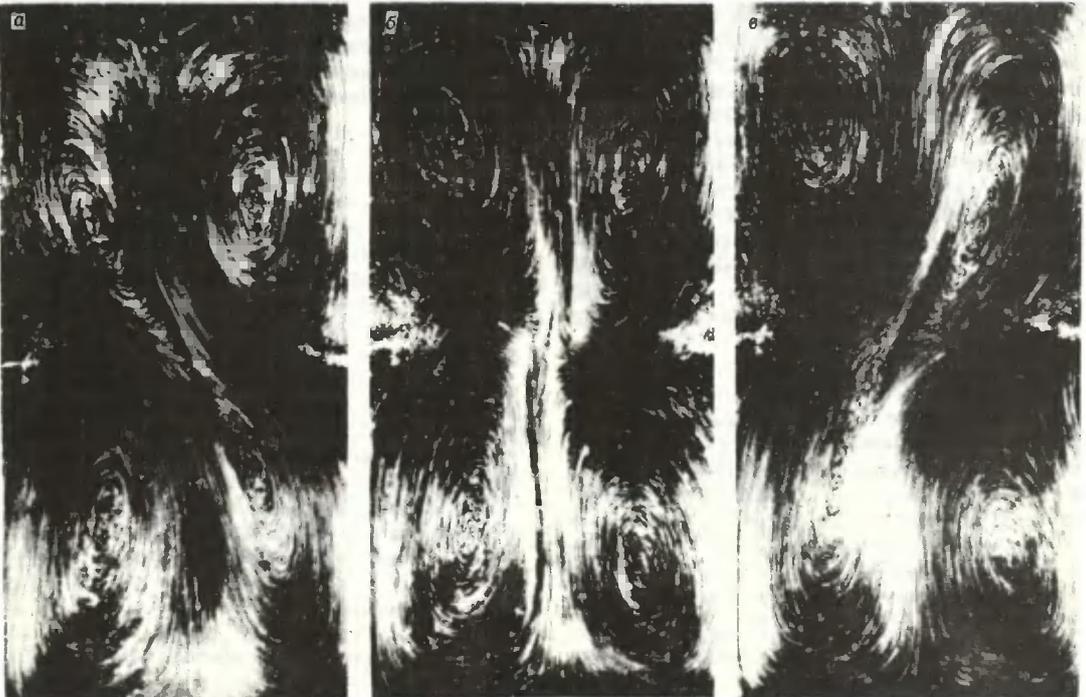


Рис. 9. Возникновение стохастического аттрактора в результате последовательности удвоений цикла. Справа показана зависимость числа циклов от надкритичности.

Рис. 10. Мгновенные снимки конвективного течения жидкости в параллелипеде. В предтурбулентном режиме состояния а, б и в сменяются периодически во времени: при переходе через критическое значение $\Delta T_{кр 2}$ эта последовательность становится случайной.



и значением $C_{кр}$ удовлетворяет условию $(C_{кр} - C_0) = \delta^{-n} \cdot const$, где $\delta = 4,6692$ — универсальная постоянная Фейгенбаума. Это означает, что, обнаружив экспериментально несколько первых удвоений (в спектре мощности им соответствует появление дискретных пиков на частотах $\omega/2$, $\omega/4$ и т. д.), на основании универсального закона можно предсказать значение параметра $C_{кр}$, вслед за которым в системе возникает хаос.

Последние исследования показали, что универсальной, по крайней мере вблизи критической точки, оказывается и дальнейшая эволюция хаоса. При увеличении параметра $C > C_{кр}$ энтропия растет также по универсальному закону: $h(C) = (C - C_{кр})^\beta \cdot const$, где $\beta = \log 2 / \log \delta = 0,449$. Таким образом, возникнув скачком, хаос при дальнейшем увеличении параметра (вблизи точки перехода) непрерывно улучшается — параметр беспорядка растет (рис. 5)¹⁰.

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

В простых детерминированных системах область существования хаоса при изменении параметра C обычно ограничена. Например, в упоминавшейся модели Лоренца при увеличении разности температур ΔT странный аттрактор рождается, довольно сложным образом эволюционирует (на рис. 5 показана зависимость энтропии от ΔT) и, наконец, исчезает — сложная динамика вырождается в тривиальное периодическое движение. Естественно, в реальных течениях такое невозможно. С ростом надкритичности (скорости, подогрева и т. д.) система из простой постепенно переходит в сложную — возбуждаются новые степени свободы (вихри более мелких масштабов, волны и т. д.), которые в исходной модели не учитывались. Однако детерминированная природа хаоса сохраняется.

Покажем, как это происходит, на примере все той же конвекции при подогреве снизу. Только теперь расширим спектр возможных движений жидкости, превратив вертикально стоящую конвективную петлю в поставленную на торец коробочку (рис. 10). При малых ΔT и в петле, и в

коробочке наблюдается одинаковое одно-вихревое движение жидкости. Однако с ростом ΔT , задолго до $\Delta T_{кр2}$ (когда вихрь должен начать менять направление вращения), движение усложняется за счет возникновения более мелких вихрей. На рис. 10 показан подобный режим. В принципе при дальнейшем увеличении ΔT могут возникнуть и еще более мелкие вихри. Однако, как показывают исследования пермских физиков¹¹, прежде чем это произойдет (чем меньше вихри, тем существеннее на них сказывается вязкость и тем большее ΔT нужно, чтобы они возникли), в системе уже из имеющихся четырех вихрей возникает хаотическое движение — турбулентность. При этом вихри случайным образом пульсируют во времени и пространстве, что визуально выражается в случайной смене состояний, показанных на рис. 10. Математическим образом такой турбулентности также является странный аттрактор, только расположенный уже не в трехмерном, а в 12-мерном фазовом пространстве.

Конечно, при увеличении ΔT спектр возбуждений еще более расширяется и задача усложнится, однако на главный вопрос: откуда берется «исходная» случайность при течении жидкости, описываемой детерминированными уравнениями Навье — Стокса, — мы уже умеем отвечать. Неупорядоченное течение возникает в результате сложной динамики взаимодействующих вихрей (волн или иных возбуждений). Этому сейчас находят все новые экспериментальные подтверждения.

Так, в недавних экспериментах новосибирских физиков В. С. Львова и А. А. Предтеченского структура странного аттрактора и его эволюция с ростом надкритичности изучалась на примере течения жидкости между цилиндрами при вращении внутреннего цилиндра в очень широкой области надкритичностей. (Это течение во многом аналогично конвекции — роль архимедовых сил играют центробежные силы, а вместо параметра ΔT фигурирует скорость вращения цилиндра Ω .) В результате машинной обработки результатов эксперимента было установлено, что наблюдаемой турбулентности соответствует странный аттрактор, размерность которого (вместе с размерностью модели, в рамках которой он описывается) дискретным образом уве-

¹⁰ Во многих случаях уже после критической точки возникают устойчивые циклы. Однако их области притяжения в фазовом пространстве очень малы, а интервалы в пространстве параметров, где они существуют, чрезвычайно узки.

¹¹ Любимов Д. В., Путин Г. Ф., Чарнатинский В. И. Доклады АН СССР, 1977, т. 235, № 3, с. 534.

личивается с ростом надкритичности системы (Ω). Было показано, что при увеличении надкритичности качество хаоса улучшается — сплошной спектр становится более равномерным, уширяется, в нем исчезают признаки когерентности¹². Более того, хаотический режим при изменении параметров течения уже не перемежается с периодическим. Как следует из эксперимента, это связано с появлением новых возбуждений с различными пространственно-временными масштабами.

Таким образом, мы приходим к выводу, что чем сложнее система (чем больше степеней свободы) и чем выше степень ее неравновесности, тем надежнее устанавливается в ней хаотическое, турбулентное движение. Является ли это утверждение всеобщим?

ПОРЯДОК ИЗ БЕСПОРЯДКА

Нет. Многие, кто летал днем на самолете над облаками, имели удовольствие наблюдать их хорошо упорядоченную, регулярную структуру. Иногда в виде прямоугольных или шестигранных ячеек, иногда в виде валов или «улиц». Каким образом возникают они среди беспорядка разнообразных возмущений, нарастающих в слое водяного пара, подогреваемого снизу более теплым воздухом? Это удобно пояснить опять на примере конвекции, но уже в безграничном плоском слое подогреваемых снизу жидкости или газа. Такой слой служит хорошей моделью и для облаков.

Появлению конвекции соответствует возбуждение в подогреваемом слое вихрей (валов) вполне определенного масштаба. При увеличении ΔT нарастают и валы других масштабов — для них превышен порог неустойчивости. Но они не сосуществуют все вместе. Вступает в действие механизм отбора (конкуренции): поскольку конвективные движения всех масштабов черпают энергию из общего источника (стационарно подогреваемого слоя жидкости), те возмущения, которые отбирают ее эффективнее других, «выживают», подавляя остальные. Таким образом определяется масштаб структур. А форма? Ведь валы оптимального масштаба с произвольной пространственной ориентацией равноправны. Что именно устанавливается, зависит от свойств

жидкости. Например, в жидкостях с зависимостью вязкости от температуры валы разных направлений оказываются зависимыми друг от друга (взаимодействуют) таким образом, что в результате устанавливается режим в виде суперпозиции валов, развернутых друг относительно друга на 60° . Такая суперпозиция и дает структуры в виде шестигранных ячеек (ячейки Бенара). Резонансное взаимодействие расположенных под определенным углом возбуждений сродни явлению взаимной синхронизации часов¹³.

Но может быть при более сильном подогреве (неравновесности системы) структуры разрушатся и возникнет турбулентность? Действительно возникнет. Однако можно привести множество примеров детерминированных систем с бесконечным числом степеней свободы, в которых, наоборот, с ростом неравновесности движения становятся все более организованными. Один из них — образование периодических пилообразных или колоколообразных волн в газе и плазме, появляющихся среди хаоса начальных возмущений при увеличении энергии источника. Их возникновение также в первую очередь определяется взаимной синхронизацией различных возбуждений. Таким образом, возникает хаос или исчезает, уступив место высокоорганизованной структуре, зависит не просто от уровня надкритичности и числа степеней свободы, а еще и от конкретных особенностей системы. В частности, если масштабы вновь возникающих с ростом неравновесности возбуждений близки к уже имеющимся или кратны им, то эффект взаимной организации лишь усилится (за счет возрастания суммарной энергии регулярных движений). Если же новые возбуждения имеют совершенно неупорядоченные масштабы, нарастая с ростом надкритичности, они разрушат уже сложившиеся упорядоченные структуры.

Вообще следует сказать, что всегда волновавшая физиков, да и не только физиков, проблема взаимоотношения хаоса и порядка сейчас, после открытия хаотического поведения в простых детерминированных системах, стала особенно захватывающей и глубокой.

¹² Это, по-видимому, связано с увеличением размерности странного аттрактора и увеличением числа направлений, по которым разбегаются траектории

¹³ Именно механизму синхронизации отдельных, локализованных в пространстве возмущений обязаны своим происхождением, например, спиральные волны — ревербераторы, возникающие в различных биологических и химических средах.

Будущее Арала и Приаралья

Н. Т. Кузнецов



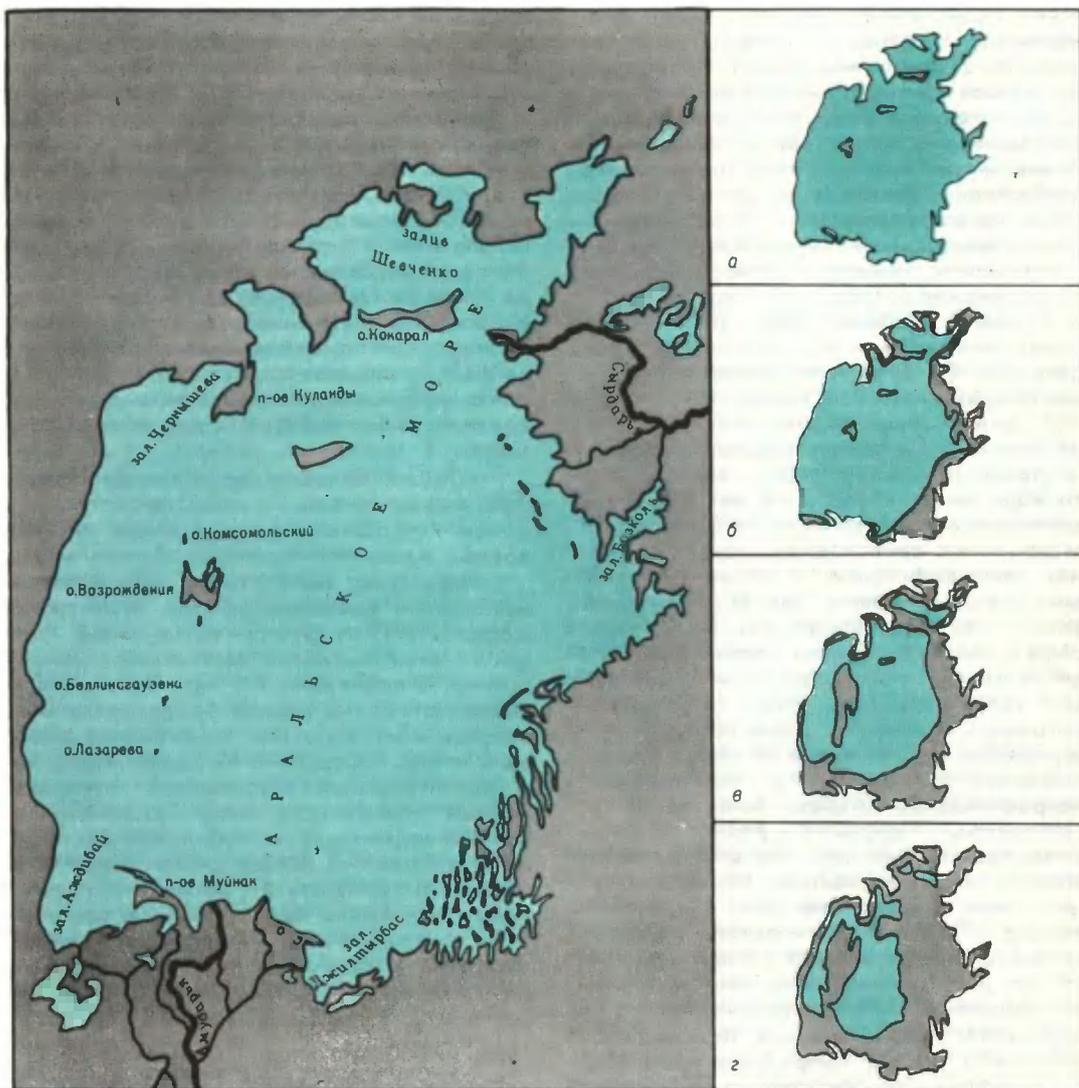
Николай Тимофеевич Кузнецов, доктор географических наук, старший научный сотрудник Института географии АН СССР. Специалист по аридной гидрологии, автор первых обобщающих работ по поверхностным водам Центральной Азии. В последние годы — научный руководитель комплексных исследований по проблеме Аральского моря.

В изданном в 1970 г. 2-м т. Большой Советской Энциклопедии об Аральском море сказано, что это бессточное соленое озеро расположено на абсолютной высоте 53,0 м, имеет площадь с островами — 64,5 тыс. км², наибольшую длину 428 км, ширину — 235 км, объем воды около 1000 км³. Соленость воды — 10—11‰, увеличивающаяся у юго-западных берегов до 14‰, многолетние колебания уровня около 3,0 м. В конце 50-х годов уровень моря стал заметно падать из-за развития в его бассейне орошения. Поскольку площади орошаемого земледелия все увеличиваются, возможно, в следующем издании БСЭ про Арал придется писать, что он представляет собой небольшой остаточный горько-соленый водоем, образовавшийся в процессе стихийного усыхания Аральского моря, расположенный среди обширной песчано-солончаковой пустыни.

Однако собранные к настоящему времени материалы по проблеме Арала и Приаралья позволяют надеяться на более оптимистический вариант энциклопедической справки об Арале в будущем. Например, такой: «Арал — система управляемых водоемов, созданных человеком вместо единого Аральского моря. Экосистемы водоемов созданы в результате вселения солевыносливых представителей фауны и флоры. Пресноводные виды рыб, ранее

жившие в море, в настоящее время сохранились в специальных дельтовых прудах и водоемах. Около водоемов на базе лечебных грязей, минеральных источников и сухого климата создано несколько специализированных санаториев. Вокруг моря проложено несколько туристических маршрутов, на которых можно познакомиться с памятниками развивавшихся в Средней Азии и Казахстане древних цивилизаций. Особый интерес представляют заказники и заповедники, в которых сохраняется пустынный генофонд, редкие пустынные животные и растения. На обсохшем дне моря созданы лесополосы, предохраняющие соседние территории от пыльных и песчаных бурь. Намечившееся в 70-х годах антропогенное опустынивание Аральского региона удалось ликвидировать с минимальными затратами».

Однако вернемся к современному состоянию проблемы. Аральское море и некоторые уникальные стороны его жизни, определяемые тем, что водоем расположен в пустыне, издавна привлекали внимание многих специалистов, и в первую очередь океанологов, ихтиологов, гидрологов, климатологов. Изучая море и природную среду в Приаралье, они, естественно, интересовались не только их настоящим, но и будущим. Так, еще в начале нашего



Аральское море и изменение его береговой линии при различных отметках уровня: при отметке 53 м абс. [а]; при отметке 50 м абс. [б]; при отметке 40 м абс. [в]; при отметке 33 м абс. [г].

столетия, видный русский ученый А. И. Воейков полагал, что развитие орошения повлечет за собой почти полное прекращение притока речных вод к Аралу и, как следствие, его усыхание. В таком будущем Арала А. И. Воейкову видилась определенная справедливость, поскольку существование моря в пустыне, где воды всегда не хватает, представлялось неоправданным. У этой точки зрения появилось много

сторонников, когда в начале 60-х годов уровень Аральского моря начал снижаться. Опираясь на авторитет А. И. Воейкова, некоторые специалисты полагали, что влияние Арала на природную среду невелико. А поскольку использование питающих море речных вод для орошения сулило, на первый взгляд, несравненно больший экономический эффект, чем поступление этих вод в Арал, где за их счет развивалось рыболовство и судоходство, то стихийное усыхание Арала представлялось оправданным.

Одновременно возникла и противоположная точка зрения: влияние моря на природу прилегающих к нему территорий

весьма существенно, следует ожидать значительных, вызванных снижением уровня Аральского моря изменений природных комплексов и их компонентов в Приаралье, что повлечет за собой довольно ощутимые экономические потери. Поскольку падение уровня моря в ближайшей перспективе неизбежно, то необходимо принять меры, чтобы предотвратить возможные негативные экологические изменения в Приаралье и уменьшить нежелательные социально-экономические последствия снижения уровня Арала. В данном случае речь шла о проведении системы мероприятий, которая позволила бы управлять режимом моря вместо стихийного его усыхания.

Существование противоположных точек зрения и подходов к решению проблемы Аральского моря было связано с тем, что еще каких-нибудь 5—6 лет назад мы не располагали необходимыми фактически данными о происходящих здесь изменениях природной среды и аргументированными доводами и расчетами, подтверждающими ту или иную концепцию. Таким образом, в известной мере они носили абстрактный, а иногда и эмоциональный характер. Дело усложнялось еще и тем, что впервые географы столкнулись с практической возможностью исчезновения на глазах одного поколения значительного по площади географического объекта. Было ясно, что необходимы широкие и разносторонние исследования. Они начались в 1976 г. и отличались комплексностью. Исследовались изменения гидрологического, гидрохимического и гидробиологического режимов Аральского моря, а также климат и микроклимат, растительный и почвенный покровы, животный мир, гидрологические и гидрогеологические условия, геоморфологические и другие природные процессы, протекающие в прилегающих к нему районах. Обобщение, анализ и синтез всех собранных материалов требует времени. Но и предварительное осмысление собранной информации позволяет в первом приближении уточнить положенные в основу решения проблемы Аральского моря рабочие гипотезы и концепции и сделать некоторые выводы и предложения, касающиеся всех аспектов проблемы.

СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ АРАЛА

Поскольку Аральское море состоит из трех частей, отличающихся площадью, объемом, глубинами, подводным рельефом, снижение уровня моря сказалось на них по-разному. Арал состоит из северо-

восточной части, называемой «Малым морем», западной и восточной, объединяемых общим названием «Большое море». Их разделяют о-ва Кокарал и подводная возвышенность, протягивающаяся в меридиональном направлении от п-ова Муйнак на юге до п-ова Куланды на севере.

Малое море — сравнительно небольшой и мелководный район Арала. На него падает всего 9% площади, средняя глубина около 13 м. Западная часть Большого моря — самая глубоководная область Арала. Наибольшая ее глубина, являющаяся одновременно наибольшей глубиной Арала, равна 69,0 м, средняя глубина — 22,0 м. На долю глубоководной западной части Арала приходится более 28% общего объема вод моря.

Самая большая по площади часть Арала — восточная. Площадь ее составляет более 70% общей площади моря, объем водной массы примерно $\frac{2}{3}$ объема моря.

Известно, что с 1960 г. наблюдается неуклонное снижение уровня Аральского моря. К 1979 г. он понизился на 6,8 м и достиг отметки около 46,0 м. абс., самой низкой за последние 200 лет. Такое интенсивное снижение уровня Арала, связанное прежде всего с ростом потребления воды в бассейнах Сырдарьи и Амударьи, привело к значительному сокращению площади водной поверхности моря, уменьшению объема водных масс и глубин, к существенному изменению конфигурации береговой линии. В результате снижения уровня акватория Арала сократилась более чем на 16 тыс. км², а объем водных масс уменьшился на 370 км³, соленость морских вод с 1960 по 1978 г. увеличилась с 9,6—10,3^{0/00} до 15,2^{0/00}, а в отдельных заливах превысила 17^{0/00}.

Значительное сокращение площади моря произошло в основном за счет обсыхания мелководий Большого моря. Расположенный у юго-восточного берега обширный Акпеткинский архипелаг с его многочисленными островами и островками, мелкими и извилистыми заливами в настоящее время почти полностью присоединился к матерiku, обсохли далеко проникающие когда-то в сушу заливы Бозколь, Каратма и Алтынколь. Присоединились к суше и расположенные вблизи восточного берега отдельные цепочки и группы островов. Все это привело к значительному выпрямлению береговой линии восточного и юго-восточного побережий Арала.

При дальнейшем снижении уровня в морфометрии Арала произойдут весьма

значительные изменения. Когда уровень моря понизится до отметки 40 м абс. высоты, площадь водного зеркала будет равна 36,5 тыс. км², а объем водных масс составит всего лишь 380 км³. Уменьшение акватории моря составит почти 22 тыс. км², или 37% современной его поверхности. Объем водных масс моря сократится более чем на 57%. Снижение уровня моря (на 13 м по сравнению с уровнем 1960-х годов) приведет к большим изменениям в топографии Арала. Полностью исчезнут заливы Аджилбай и Джилтырбас на юге моря. В центральной части открытого моря появится значительное пространство суши, поскольку современные острова Возрождения, Комсомольский, Константин соединятся в один остров с общей площадью в 380 км². К югу от него также появится значительный по площади остров; он объединит ныне существующие острова Лазарева и Беллингаузена и окружающие их отмели и банки. Будет продолжаться отмеченный выше процесс обособления как отдельных заливов и лагун Малого моря, так и самого Малого моря от Большого. При отметках уровня моря 41 м абс. высоты произойдет полная изоляция Малого моря от Большого и отчленение от Малого моря его двух больших заливов Бутакова и Сарышиганак.

И наконец, при понижении уровня моря до отметок ниже 33,0 м абс. общая площадь водного зеркала¹ Арала составит всего лишь 22 тыс. км², а объем водных масс примерно 150 км³. При этом сохранятся два небольших по площади водоема (около 6 и 16 тыс. км²), соединенных между собой неглубоким проливом (2—3,5 м) между банкой Бенинга и п-овом Куланды.

При отметках уровня ниже 30 м абс. произойдет полное разделение акватории моря на два самостоятельных водоема. Таким образом, в случае сохранения направленного процесса снижения уровня Арала можно наметить 4 основных стадии в жизни моря, каждой из которых будут соответствовать не только специфические гидролого-морфометрические показатели Арала, но и переломные моменты в развитии природных процессов на обсыхающей площади дна моря и изменении природной среды в Приаралье. Первая — в пределах произошедшего за последние годы снижения уровня Аральского моря, равного по своей величине вековым его колебаниям (в пределах 3 м — от 53 до 50 м абс.). Вторая — при понижении уровня моря от 50 до 40 м абс., когда в конце стадии Малое море отделится от Большого. Третья — при

понижении уровня с 40 до 30 м абс., когда западная глубоководная часть Большого моря почти полностью отделится от восточной. Четвертая — при понижении уровня моря ниже 30 м абс., когда будет наблюдаться постепенное усыхание западного и, вероятно, относительно стабильное положение восточного водоема, подпитываемого сбросными и возвратными водами среднеазиатских рек.

ПЕРЕСТРОЙКА ЖИЗНИ В ВОДОЕМЕ

Снижение уровня и увеличение минерализации аральской воды повлекло за собой перестройку всей жизни в водоеме. Если до начала 60-х годов приток речных вод к морю в среднем оценивали в 54,8 км³ в год, то за 1961—1977 гг. он составил только 32,8 км³/год, а в отдельные маловодные годы сырдарьинские воды вообще не достигали моря. Правда, следует иметь в виду, что уменьшение притока вод к морю было связано не только с продолжавшимся безвозвратным изъятием речных вод для орошения, но и с общей маловодностью в период 1961—1978 гг.

Уменьшение притока вод к Аралу и увеличение его солёности сопровождалось снижением продуктивности фитопланктона и зоопланктона, обеднением видового состава и заменой видов, свойственным солонатовым водам. Среди фитопланктона доминантами стали диатомовые водоросли, в зоопланктоне полностью или почти полностью выпали ранее доминировавшие арктидиантомус, кладоцеры, циклопы, но зато акклиматизировались коловратки и каланипеды, которые сейчас составляют подавляющую часть биомассы зоопланктона при общем уменьшении ее примерно в 4 раза.

Значительные изменения характерны и для зообентоса, которые связаны как со снижением уровня, так и с интродукцией беспозвоночных. Если раньше бентос Арала составляли личинки насекомых, гипанис и дрейссена, то в настоящее время многие группы организмов в море уже отсутствуют, а наращивают численность и биомассу зообентоса мизиды, нереис, абра, причем общая биомасса на 1979 г. (по отношению к 1954 г.) увеличилась примерно в 6 раз.

Промысловые стада рыб Аральского моря естественно реагировали на все эти условия. Первоначальная ихтиофауна моря исчислялась всего 20 видами рыб, из которых 12 имели промысловое значение. В их



Осушившееся глинистое засоленное дно, зарастающее солянками. На переднем плане уже высохший и растрескавшийся грунт (южное побережье).

Древняя дюна, отгороженная от моря осушившейся полосой (п-ов Муйнак).



число входили такие ценные, как лещ, сазан, усач и некоторые другие. Однако перечисленные рыбы сейчас почти потеряли промысловое значение, уловы в Аральском море упали, и оно теряет свое рыболовное значение. Вначале это было связано с тем, что снижение уровня моря сопровождалось гибелью нерестилищ, а в последнее время на пресноводные виды рыб и особенно на их молодь угнетающе действует и увеличение минерализации морской воды до величин близких к допустимым для многих видов рыб. Но интересно, что вследствие акклиматизации солевывносливых рыб (правда, с ними попали и некоторые внеплановые вселенцы, вроде бычков), которые натурализовались в

Аральском море, в конце 70-х годов насчитывалось уже 34 вида рыб.

Все изложенное наглядно подтверждает хорошо известную, но, к сожалению, иногда забываемую истину о том, что между средой (в данном случае морем) и населяющими ее организмами устанавливается сложное и тонкое равновесие, складывающееся в течение длительного времени. Вмешательство же хозяйственной деятельности человека, образно говоря, отнимает у природы не больше, не меньше, как время, необходимое для создания такого равновесия. Это положение полностью справедливо и при рассмотрении происходящих в связи со снижением уровня Аральского моря измене-

Бывший песчаный остров. На заднем плане — солончак, образовавшийся на месте морской протоки (Аклеткинский архипелаг).

Осушившееся незасоленное песчаное дно, усеянное морскими раковинами, зарастает лебедой (южное побережье).

Фото Н. М. Богдановой.



ний окружающей среды в Приаралье и круговорота веществ (и энергии) в системе «бассейн — Аральское море».

АНТРОПОГЕННОЕ ОПУСТЫНИВАНИЕ ПРИАРАЛЬЯ

В широкую печать время от времени проникают быстро принимающие форму штампов те или иные слова. В частности, говоря об изменениях в природе, модно говорить о «ранимости тундры», о «ранимости пустыни», «ранимости лесов» и других «ранимостях». Конечно, вполне применимо это слово и для пустынных ландшафтов Приаралья. Например, нужны десятилетия, чтобы низкорослый саксаул достиг

своего максимального роста. Но вот перестали проникать воды Сырдарьи в ее обсохшее русло Жанадарью, прекратилась фильтрация этих вод в русло, а тем самым пополнение запасов подземных вод, залегающих на глубине 7—15 м, и самый крупный в Средней Азии массив черносаксаулового леса, занимающий около 300 тыс. га, оказался под угрозой гибели. А лес — это не только топливо или место выпаса животных, это сложная экосистема, тесно связанная с другими и не только соседними экосистемами. В данном случае для характеристики процесса более приемлемо понятие деградация леса. Однако ученые, изучающие пустыни, ищут и другие максимально выразительные понятия, вскры-

вающие и то, что происходит, и почему это происходит.

В научной литературе давно обрело право гражданства такое емкое понятие как опустынивание. Считают, что в настоящее время во многих районах Земли пустыни поглощают прилегающие к ним полупустынные и полувлажные территории, в основном из-за иссушения. Однако чаще всего опустынивание рассматривается как форма ухудшения экосистем, свойственных засушливым районам, в результате изменений напряженности их использования человеком.

Подобное изменение экосистем, уменьшение их продуктивности наблюдается и в Приаралье, где деградация охватывает и зональные пустынные экосистемы, и аazonальные высокопродуктивные экосистемы в долинах и особенно в дельтах Амударьи и Сырдарьи. Их антропогенное опустынивание также связано со снижением уровня моря, но в большей мере — с ликвидацией здесь естественных разливов рек и уменьшением количества речных вод, поступающих в дельты. Не следует, правда, забывать, что антропогенное опустынивание Приаралья и деградация ландшафтов этого района идут за счет увлажнения и увеличения биологической продуктивности других пустынных районов Средней Азии и Южного Казахстана.

Антропогенное опустынивание Приаралья охватывает все компоненты природных комплексов. Во-первых, понижается уровень грунтовых вод в Приаралье и увеличивается их минерализация. В пределах обсохшей площади дна моря образовался горизонт грунтовых вод, которого раньше не было. О значении этих грунтовых вод можно судить хотя бы по тому, что они выступают как основной поставщик солей на поверхность бывшего дна моря вследствие капиллярного поднятия. И если несколько лет назад еще только предполагалось, что обсохшее дно моря может стать ареной ветровой деятельности и выноса солей и мелкозема, то сейчас песчаные бури стали реальностью. В частности, одна из них была зафиксирована в 1978 г. Из обсохшей дельтовой части Сырдарьи мелкозем выносился на юго-запад, почти через весь Арал до нижней части дельты Амударьи. Правда, пыльные бури на обсохшем дне моря возникают не так часто. Но в целом ветровые процессы развиты в этом районе довольно сильно.

На освобождающейся из-под уровня моря территории возникают своеобразные биогеоценологические процессы, которые ха-

рактеризуются, например, пыльным развием в течение 2—3 лет солянок с последующей их быстрой гибелью. Обсыхающее дно моря интенсивно заселяется различными грызунами, где в первую очередь поселяются большая, краснохвостая, гребенщикова и полуденная песчанки, мохноногий тушканчик, домовая мышь, серый хомячок, малый тушканчик и заяц толай.

Но для всех процессов, протекающих на дне моря, и особенно для геоморфологических и галогеохимических, характерна единая закономерность — чрезвычайная эфемерность и динамичность. Также непостоянны и природные процессы на территории, прилегающей к морю, расположенной выше отметки 53,0 м абс. высоты. Она включает ново- и древнеаральские морские террасы (уже давно не покрывавшиеся морем) и древнедельтовые равнины, которые вообще развивались без воздействия морских трансгрессий. К сожалению, пока не выработалось единого представления о том, как далеко в глубь от береговой полосы 60-х годов заходит влияние Аральского моря на ландшафты, а следовательно и снижение его уровня, на окружающую среду. Чаще это расстояние определяется в 100 км, в пределах которых достаточно четко прослеживается антропогенное опустынивание Приаралья. Однако, рассматривая здесь изменение природной среды, следует четко разграничивать опустынивание Приаралья и усыхание ранее обводненных дельт Сырдарьи и Амударьи.

Наиболее эфемерны и чрезвычайно динамичны изменения, происходящие именно в усыхающих дельтах. Здесь за короткий промежуток времени, после того как прекратились систематические разливы рек (в годы очень многоводные они, правда, еще наблюдаются), высохли многие озера и протоки, обсохли и почти полностью погибли обширные тростниковые заросли и другая влаголюбивая растительность. Как следствие — резко уменьшилась кормовая база, поскольку замешившие эту растительность солянки не компенсируют потери. Иссушение дельт отрицательно сказывается и на почвенном покрове, засоляются наиболее ценные аллювиально-луговые и лугово-болотные гидроморфные почвы, заменяясь солончакками.

Близкие, но не столь контрастные изменения природной среды происходят и вне дельт, где антропогенное опустынивание понижает продуктивность пустынных пастбищ; наблюдается засоление почв и

другие неблагоприятные экологические последствия снижения уровня Аральского моря. Такие экологические и экономические потери, пока только для узбекской части Приаралья, удалось оценить в рублях. Сумма всех потерь в низовьях Амударьи вследствие падения уровня моря по ориентировочным подсчетам оценивается в более чем 700 млн руб. ежегодно. Они складываются из потерь в рыболовстве, судоходстве, в сельском хозяйстве и в связанных с ними промышленных отраслях.¹

Все выявленные нежелательные (а есть и благоприятные, но их немного) экологические изменения и социально-экономические последствия снижения уровня Арала, по существу, представили ту научную основу, на которой и разрабатываются мероприятия по предотвращению или уменьшению неблагоприятных и отрицательных последствий.

КАК УМЕНЬШИТЬ НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ПАДЕНИЯ УРОВНЯ МОРЯ

Только одно перечисление предложенных мероприятий соизмеримо с объемом данной статьи, поэтому отметим, что они охватывают все виды мелиораций: водные, климатические, земельные и фитомелиорации. Особое внимание обращается на сохранение и воспроизводство редких и исчезающих видов растений и представителей животного мира. В этой связи может быть нелишне напомнить, что только в Казахстане насчитывается свыше 120 эндемических растений.

Остановимся на некоторых наиболее характерных из предложенных мероприятий. Среди них одно из ведущих мест принадлежит предложению, направленному на обеспечение притока к Аралу уже использованных в сельском хозяйстве речных вод, пока сбрасываемых в Арнасай, Сарыкамыш и другие, меньшие по размерам бессточные понижения.

Большое внимание уделяется управлению режимом Аральского моря путем расчленения его акватории земляными дамбами с водопропускными сооружениями на несколько гидрографически связанных водоемов. Каждый из них будет отличаться только ему присущим гидрологическим, гидрохимическим и гидробиологическим

режимами. Предложено несколько схем сохранения в качестве активных (действующих) отдельных частей Аральского моря. Так, гидрологи нашего института М. И. Львович и И. Д. Цигельная предлагают сделать активными Малый Арал и западную часть моря. По схеме, разработанной в Государственном океанографическом институте Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды водоем сохраняется на месте залива Аджибай. По другим схемам действующими будут только восточная часть Большого моря или Малое море и восточная часть Большого моря. Расчленение единой акватории позволяет уменьшить размеры отдельных водоемов, а следовательно, и потери на испарение с их водной поверхности.

Эти водохозяйственные мероприятия вызваны к жизни непосредственно снижением уровня Аральского моря. Но на него будут работать и осуществляемые вне связи с проблемой Арала комплексные мероприятия, направленные на повышение КПД каналов и оросительных систем, упорядочение поливных норм и другие мероприятия, связанные с общей интенсификацией водного хозяйства Средней Азии и Казахстана.

Определенную озабоченность вызывает возможный вынос ветром на прилегающие территории, в том числе и в оазисы, солей, накапливающихся на обсыхающей поверхности дна моря. Уменьшение этого процесса предполагается как за счет фитомелиораций, так и путем пропитывания мелкозема специальными (вяжущими) химическими веществами. Заметим, что до антропогенного снижения уровня Арала его главная гидрологическая функция состояла в аккумуляции солей, выщелачиваемых в бассейне и сносимых в море, т. е. оно было главным солеприемником Средней Азии. Однако сброс в Арал минерализованных дренажных вод частично выполнит эту функцию моря и тем самым позволит избежать накопления солей на орошаемых землях.

Фитомелиорации вне обсохшей части дна моря призваны сохранить или восстановить здесь кормовую базу животноводства.

Предстоит преодолеть ряд трудностей, связанных с тем, что не всегда ранее оправдывавшие себя методы прогнозирования (и расчетов), например метод географических аналогов, тенденций и некоторые другие, дают ожидаемые ре-

¹ Лапкин К. И., Рахимов Э. Д. Опыт социально-экономической оценки последствий усыхания Аральского моря. — Проблемы освоения пустынь, 1979, № 2.

зультаты. Трудности вызваны такой специфической особенностью современного снижения уровня моря, как его не имеющая аналогов в прошлом интенсивность. Эта особенность снижения уровня моря приводит и к уже отмечавшимся своеобразным особенностям в развитии и изменениях природных комплексов, их компонентов и природных процессов; возникают не только новые экосистемы, но наблюдаются «скачки и паузы» в развитии ранее хорошо изученных экосистем. Поэтому в предстоящих работах значительное внимание необходимо уделить экспериментальным работам, которые призваны получить новую информацию об изменениях природной среды.

Наконец, стало очевидным, что проведение мероприятий, направленных на ликвидацию нежелательных последствий снижения уровня Арала, следует проводить незамедлительно, не дожидаясь переброски стока части сибирских рек в бассейн Аральского моря. Эта необходимость вызвана тем, что иначе могут получить развитие необратимые процессы и явления, последствия которых в настоящее время практически непредсказуемы.

До сих пор разговор шел только о таком влиянии на равнинные пустыни, как снижение уровня моря вследствие все возрастающего использования речного стока для орошения, причем орошаемые площади будут возрастать, а не сокращаться. Однако на природу пустынь действуют и другие рычаги, такие как использование хранящихся в ее недрах запасов нефти и газа, что сопровождается строительством газо- и нефтепроводов. Ну, а об их негативном влиянии на пустыни написано уже столько, сколько, пожалуй, ни о каком другом хозяйственном воздействии. Кроме того, в скором времени следует ожидать усиления давления на неустойчивое природное равновесие и в связи с тем, что в обнажившихся морских песках обнаружено довольно высокое содержание некоторых редких металлов. И это далеко не единичные примеры все возрастающего вторжения человека в жизнь пустынь, усугубляющие их деградацию на общем фоне антропогенного опустынивания, связанного со снижением уровня Арала.

Наступает (или уже наступил) период, когда следует переходить к многомерному решению всей проблемы бассейна Аральского моря, когда предстоит учесть не только множество действующих факторов, но и предусмотреть пока еще не

существующие будущие причины возможных изменений окружающей среды и социально-экономических последствий таких изменений.

А время, как уже неоднократно отмечалось, становится лимитирующим фактором, поэтому мероприятия по борьбе с антропогенным опустыниванием следует проводить незамедлительно, не дожидаясь решения о переброске части стока сибирских рек в Среднюю Азию и Казахстан, которая, конечно, также позволила бы уменьшить масштабы антропогенного опустынивания в Приаралье.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Боровский В. М., Корниенко В. А. СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ АРАЛЬСКОГО МОРЯ.— Проблемы освоения пустынь, 1979, № 2.

Кортунова Т. А. ОБ ИЗМЕНЕНИЯХ В ЗООПЛАНКТОНЕ АРАЛЬСКОГО МОРЯ.— Зоологический журнал, 1975, т. 54, вып. 5.

Кузнецов Н. Т. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ БУДУЩЕГО АРАЛЬСКОГО МОРЯ.— Проблемы освоения пустынь, 1976, № 1.

Кузнецов Н. Т., Ключанова И. А., Николаева Р. В. НЕКОТОРЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ АРАЛЬСКОГО МОРЯ.— Водные ресурсы, 1978, № 1.

Львович М. И., Цигельная И. Д. УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМ БАЛАНСОМ АРАЛЬСКОГО МОРЯ.— Известия АН СССР, сер. географ., 1978, № 1.

Атмосфера и породы поверхности Венеры: факты и прогнозы

В. Л. Барсуков, В. П. Волков



Валерий Леонидович Барсуков, член-корреспондент АН СССР, директор Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР, президент Международной ассоциации по геохимии и космохимии. Специалист в области космохимии, геохимии океана, геологии и геохимии рудных месторождений. Автор многих работ по этим проблемам.



Владислав Павлович Волков, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник того же института. Занимается геохимией планет земной группы.

Сравнительно недавно журнал «Science» поместил на обложке пейзаж Венеры, написанный в 30-е годы, — мрачный водоем в межгорной впадине, озаряемый красным солнцем, пробивающимся из-за темных туч. По берегам — похожие на гигантские кактусы растения, над водоемом — огромные стрекозы. Так представляли облик этой планеты в докосмическую эпоху. Совсем другим выглядит он в результате космических экспедиций, организованных начиная с 60-х годов в нашей стране и в США. Одно их перечисление заняло бы несколько страниц. Достаточно сказать, что в 1979 г. информация о Венере поступала одновременно с 8 космических аппаратов. Итоги экспериментов еще обрабатываются, но уже сейчас мы знаем немало об атмос-

фере Венеры и можем сделать некоторые предположения о составе пород, выходящих на ее поверхность.

СТРОЕНИЕ АТМОСФЕРЫ

Высокая температура поверхности Венеры (примерно 475°C) исключает существование гидросферы, поэтому планета имеет только две внешние оболочки: атмосферу и кору. Атмосферу условно делят на нижнюю (ниже 150 км) и верхнюю, которая на высотах порядка 1000 км постепенно переходит в межпланетную космическую среду.

Верхняя атмосфера — открытая разреженная газовая система, компоненты которой находятся преимущественно в дис-

соцированной, ионизированной форме. Распределение частиц газов по вертикали определяется процессами диффузии и зависит от их молекулярного веса. Выше 250—300 км в составе атмосферы преобладают ионы кислорода и окись углерода, а начиная с высоты 500—700 км — гелий и водород. В нижней атмосфере состав и состояние газовой среды определяют процессы конвективного перемешивания, поэтому относительная концентрация молекул главных компонентов атмосферы постоянна на любом уровне. Однако микрокомпоненты могут быть распределены неравномерно, если они участвуют в циклических процессах фазовых превращений в облачном слое или же вовлечены в химические реакции, протекающие в подоблачной тропосфере.

В нижней атмосфере Венеры, в свою очередь, выделяют стратосферу и тропосферу, естественная граница между которыми — верхняя граница облаков на высотах (65—67 км), где температура составляет около минус 35°C, а давление — порядка 0,1 атм.

Спектр отраженного солнечного излучения дает отличную возможность опознать молекулы веществ, входящих в состав атмосфер планет. Еще в 1932 г. в спектре Венеры были обнаружены линии поглощения углекислоты.

Сейчас мы твердо знаем, что до высот 90—100 км нижняя атмосфера на 97% состоит из CO_2 , на 2,5% из азота, а на долю остальных компонентов (H_2O , SO_2 , CO и др.) в сумме приходится менее 1%.

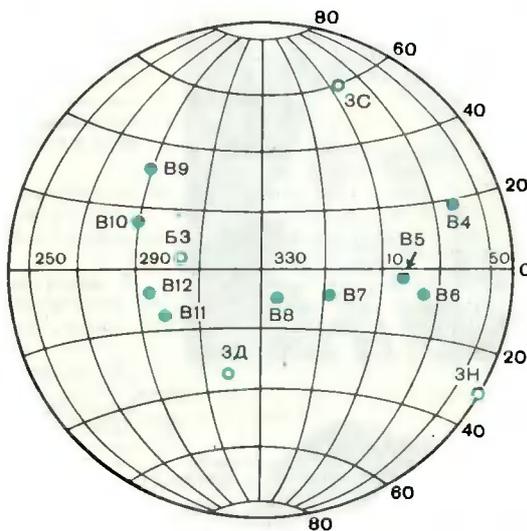
По составу главных компонентов нижняя атмосфера Венеры однородна. Однако космические эксперименты последних лет указывают на существование градиентов концентраций водяного пара и других малых составляющих, что имеет принципиальное значение и служит ключом для понимания процессов, происходящих как на поверхности планеты, так и в ее атмосфере.

С нашей точки зрения, нижнюю атмосферу Венеры естественно разделить на три зоны: надоблачную стратосферу, где преобладают фотохимические процессы, зону облаков, в которой большую роль играют химические реакции, в частности гидратация с образованием жидких и твердых конденсатов, слагающих облачный аэрозоль, и, наконец, подоблачную тропосферу, где в области сравнительно высоких температур (от 60 до 475°C) и давлений (от 1 до 100 атм) доминируют газофазные реакции и происходит взаимодействие компо-

нентов атмосферы с минералами пород поверхности.

В надоблачной стратосфере постоянный приток солнечной энергии приводит к процессам диссоциации и окисления газовых молекул (фотохимические реакции).

К таким процессам относится диссоциацию водяного пара. Свободный кислород остается в верхней атмосфере, а водород «убегает» в космическое пространство. Его сток частично компенсируется, поскольку из-за отсутствия сильного магнитного



Схематическая карта посадок космических аппаратов на поверхности планеты Венера.

ВЗ — Большой зонд; ЗД — зонд «День»; ЗН — зонд «Ночь»; ЗС — зонд «Север», — американские зонды (эксперимент «Пионер — Венера»). В — советские автоматические межпланетные станции серии «Венера». Координатная сетка построена по системе, принятой Международным астрономическим союзом в 1970 г.

поля в атмосферу Венеры проникает водород солнечного ветра.

Фотолиз углекислого газа обуславливает появление молекулярного кислорода и окиси углерода по реакции: $\text{CO}_2 + h\nu \rightleftharpoons \text{CO} + \text{O}$. Почему же атмосфера Венеры сохраняет преимущественно углекислый состав и создается дефицит кислорода, концентрация которого как минимум в 50 раз меньше, чем окиси углерода (при диссоциации CO_2 количество образующегося кислорода лишь вдвое меньше, чем CO по реакции $\text{CO}_2 = \text{CO} + 1/2 \text{O}_2$)? Предполагает-

ся, что дефицит кислорода может быть следствием его расходования в реакциях окисления компонентов, содержащих серу (SO_2) в условиях быстрого турбулентного переноса кислорода в подоблачную тропосферу. Предпринято несколько попыток понять способ регенерации CO_2 . Наиболее достоверен из них, по-видимому, механизм окисления CO до CO_2 в реакциях с содержащими серу газами, протекающих в горячей нижней атмосфере (например, $\text{CO} + \text{SO}_3 = \text{CO}_2 + \text{SO}_2$). Это должно приводить к связыванию кислорода и замыканию его цикла, который начинается с процесса диссоциации водяного пара и углекислого газа в надоблачной стратосфере.

Надоблачная атмосфера — область стока углекислого газа, а его источник следует искать, в конечном счете, в твердой оболочке планеты.

ИЗ ЧЕГО СОСТОЯТ ОБЛАКА?

Начиная с 80—85 км, в нижней атмосфере Венеры появляются облачные частицы, а в интервале высот 68—48 км планету окутывает сплошной облачный покров. Непрозрачные желтоватые облака обнаруживают неоднородное строение лишь при фотосъемке в ультрафиолетовом диапазоне. В результате космических экспериментов, проведенных на станциях серии «Венера» и зондах «Пионер-Венера», получены обширные сведения о строении облаков. Они имеют многоярусную структуру на дневной и на ночной стороне планеты. Выше основного облачного слоя (до 85 км) и ниже его (до высоты 14 км от поверхности планеты) наблюдается крайне разреженная облачная дымка: несколько частиц в 1 см^3 .

Венерианские облака в основном состоят из жидких аэрозолей (средний диаметр капель в 5 раз меньше, чем в земных кучевых облаках), расстояние между каплями около 1,5 мм. Поэтому даже основной облачный слой представляет собой, в сущности, дымку. В основном облачном слое господствуют интенсивные вихревые движения. При обработке снимков планеты, выполненных в ультрафиолетовой области спектра, обнаружены неоднородности в форме темных пересекающихся полос. Наблюдения над этими полосами показали, что периодичность вращения облачного покрова вокруг планеты составляет четверо земных суток ($\sim 100 \text{ м/с}$), а ультрафиолетовые «детали» исчезают через несколько недель и возникают в другом месте.

Об аэрозольных частицах известно,

что они имеют сферическую форму, известно распределение их по размерам, оптические свойства (показатель преломления, поляризация, спектры поглощения и т. д.) — словом, все, кроме состава. Оказалось, что физические и оптические свойства аэрозольной среды, представленной каплями концентрированной ($75\text{—}85\%$) серной кислоты, согласуются с инструментальными данными, характеризующими облачный слой Венеры. Эта «серно-кислотная» гипотеза была выдвинута еще в 1972 г. в США одновременно и независимо Г. Силлом и Э. Янгом.

К 1978 г. сернокислотная гипотеза обросла многими аргументами, предлагаемые ранее другие варианты состава облаков (вода, лед, сульфиды ртути, соли аммония и т. п.), казалось, стали достоянием истории.

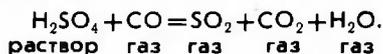
Неожиданный косвенный аргумент в пользу сернокислотной гипотезы доставил масс-спектрограф зонда «Пионер-Венера». Система напуска газа была временно выведена из строя в связи с попаданием в нее капель аэрозоля облачного слоя. При испарении этих капель были зафиксированы соединения серы и пары воды.

Иные результаты дал прибор для химического анализа аэрозоля, установленный на спускаемом аппарате «Венера-12». Он показал, что в составе облачных частиц соединения хлора резко преобладают над соединениями серы. Поскольку жидкие соединения хлора и серы вида H_2S_3 , SOCl_2 и т. п. крайне неустойчивы, возможным носителем хлора, вероятно, может быть соляная кислота. Однако почти все оптические свойства ее растворов не согласуются с данными наблюдений; равновесное давление паров воды над каплями соляной кислоты должно достигать предельно высоких значений, зафиксированных аппаратами серии «Венера». Последний довод исключает совместное нахождение серной и соляной кислоты, поскольку всем известно действие серной кислоты как поглотителя влаги. Если же присутствие соляной кислоты — экспериментальный факт, то непонятно как быть со всей суммой сведений в пользу предсказанной, но не найденной серной кислоты. Будем исходить из того, что экспериментальной ошибки в анализе аэрозоля нет. Вспомним, что вихревые потоки господствуют в облачном слое Венеры, а молекулы газов во всей тропосфере постоянно вовлечены в процесс конвективного перемешивания. Тогда можно допустить взаимодействие капель серной кислоты



Участок поверхности Венеры.
Преобразованная фототелевизионная панорама получена в 1975 г. спускаемым аппаратом «Венера-9».

с потоками газов подоблачной тропосферы по реакции:



Если капли серной кислоты в результате этого процесса исчезают (сдвиг равновесия реакции вправо), то могут возникнуть локальные максимумы «водности», где конденсация капель HCl вполне допустима. Скорее всего, в состав облаков Венеры входит целый ряд разнообразных химических веществ. Так или иначе проблема состава облачного слоя Венеры все еще остается не решенной до конца. Тем не менее присутствие серной кислоты в качестве главного компонента аэрозоля, по всей вероятности, наиболее правдоподобно.

Сложность выполнения прямого анализа облачных частиц заставляет постоянно прибегать к логическому поиску «кандидатов» в состав аэрозоля. Так, весьма интригующими кажутся упомянутые «ультрафиолетовые детали», проявляющиеся на снимках облачного слоя в виде периодически исчезающих темных пятен и полос. Попытка подыскать вещество, спектр поглощения которого в ультрафиолетовом диапазоне соответствует данным наблюдений, привела в 1975 г., казалось бы, к разумному

результату: это капли и кристаллы элементарной серы. Сера сосуществует с концентрированными растворами H_2SO_4 и устойчива в пределах облачного слоя в конденсированной форме (жидкой или твердой), а желтый цвет может объяснить цвет всего облачного слоя (ведь серная кислота бесцветна).

Но через 4 года проблема ультрафиолетового поглотителя получила совершенно иное решение. Обширный комплекс оптических исследований на зондах «Пионер-Венера» показал, что поглощение ультрафиолетового излучения обязано газобразному сернистому ангидриду — самому главному из малых компонентов тропосферы.

«Сырьем» для производства капель серной кислоты в фотохимических процессах в надоблачной стратосфере служат ее серосодержащие компоненты. Если эти компоненты представлены в основном SO_2 (а на сегодня — это единственное экспериментально найденное соединение серы), то при фотоокислении SO_2 до SO_3 (выше верхней границы облаков) происходит поглощение молекулярного кислорода. Последний, в свою очередь, возникает при фотоллизе CO_2 на CO и O_2 в верхней атмосфере. Далее, трехокись серы (SO_3) гидратируется с образованием конденсированной фазы — капель концентрированной H_2SO_4 , обеспечивая сток кислорода и его дефицит по отношению к CO . Серная кислота на нижней границе облаков ($t \approx 63^\circ\text{C}$) вновь разрушается с высвобождением сильного окислителя SO_3 , что обуславливает регенерацию CO_2 в подоблачной тропосфере по реакции:

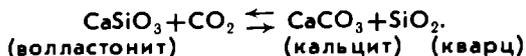
$$\text{CO} + \text{SO}_3 = \text{SO}_2 + \text{CO}_2.$$

Резервуаром соединений серы, вероятно, является горячая подоблачная тропосфера, взаимодействующая с горными породами поверхности.

Таким образом, сернокислотная гипотеза позволяет не только увязать большинство наблюдательных данных, но и понять основные черты химии атмосферы. Вероятно, определяющую роль в циклических процессах взаимодействия внешних оболочек Венеры играет сера, при участии которой осуществляются процессы регенерации CO_2 , возникновение и распад аэрозолей и, как будет показано ниже, регулируется окислительно-восстановительный режим в системе: породы поверхности — тропосфера.

ПОДОБЛАЧНАЯ ТРОПОСФЕРА И ПРОГНОЗ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА ВЕНЕРИАНСКИХ ПОРОД

За несколько лет до начала исследований Венеры космическими средствами американский геохимик Г. Юри выдвинул идею о существовании на этой планете преимущественно углекислой горячей атмосферы, находящейся в химическом равновесии с ее силикатной корой:



Эта концепция (волластонитовое равновесие) прочно вошла в историю исследования Венеры, особенно после того, как выяснилось, что CO_2 в сущности, единственный главный компонент ее атмосферы.

Если бы атмосферы вокруг Венеры не было, температура ее поверхности определялась бы балансом теплового излучения поверхности и солнечной радиации. В таком случае Венера была бы холодной планетой со средней температурой около минус 36°C . Однако в составе ее атмосферы имеются компоненты, и прежде всего углекислый газ, которые способны удерживать тепловое излучение поверхности. В результате и поверхность, и атмосфера разогреваются. Подобное явление названо «парниковым эффектом». Подсчитано, что «парниковый эффект» приводит к разогреву поверхности Марса на 7° , Земли — на 35° , а Венеры — на 500° . На Земле основным «виновником» разогрева является водяной пар, на Венере и Марсе — CO_2 .

Не следует буквально сопоставлять описанное свойство атмосфер планет с процессами, протекающими в теплицах. В парниках нагревание воздуха объясняется

отнюдь не задержкой части солнечной энергии стеклами, а отсутствием в теплице конвекционного теплообмена, который всегда происходит на открытом воздухе.

На Венере высокая температура поддерживается, прежде всего, потому, что практически вся масса ее атмосферы представлена сохраняющим тепло углекислым газом. Почему же на Земле и на Марсе вся углекислота не выделилась в атмосферу на заре их существования, а на Венере это произошло?

Если считать, что запасы летучих соединений на Венере, Земле и Марсе пропорциональны размерам планет, а их атмосферы сформировались при постепенной дегазации твердых оболочек, то проблема углекислоты решается в рамках волластонитового равновесия.

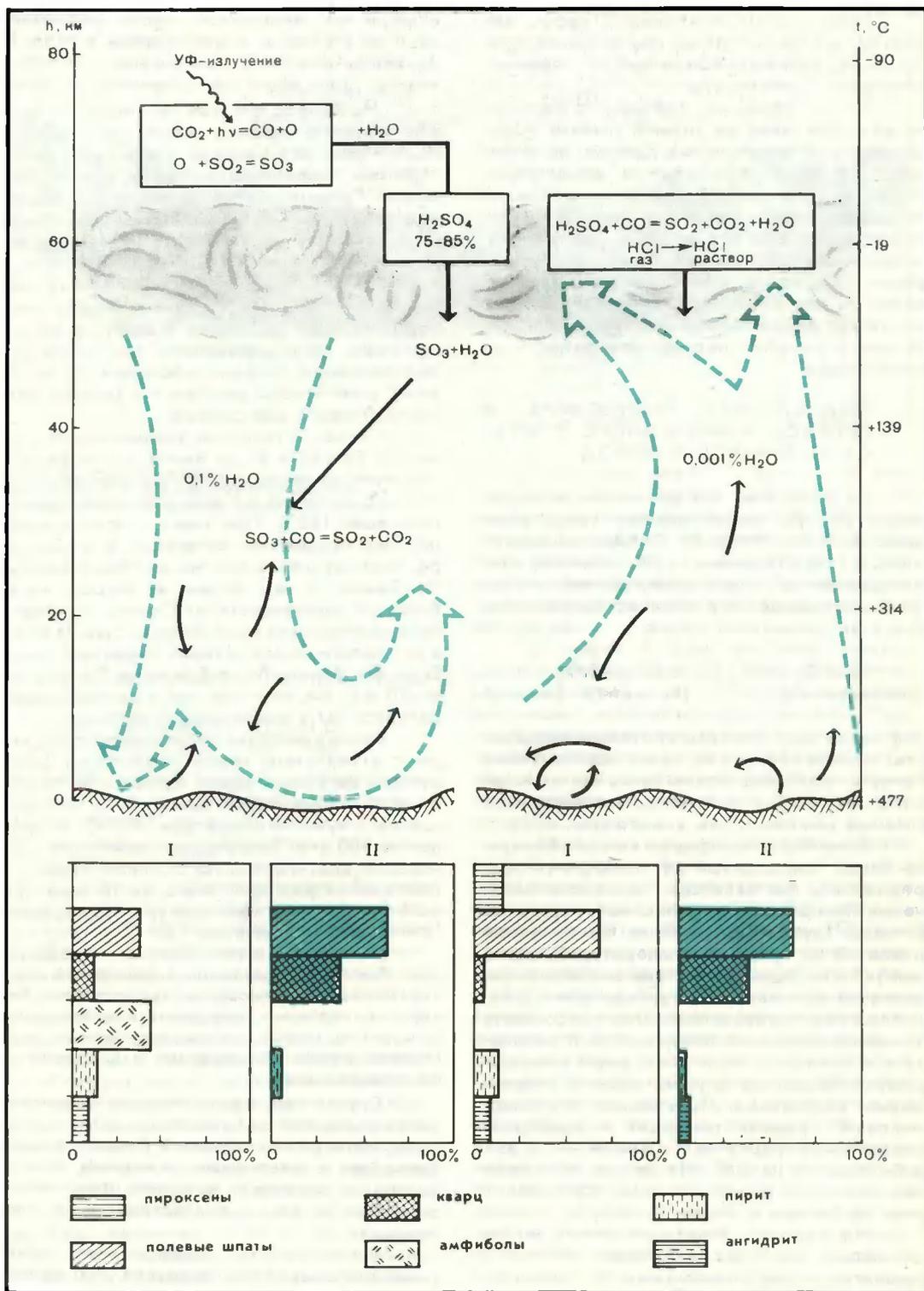
Согласно гипотезе американских ученых С. Расула и К. де Берга, атмосферное давление на поверхности Протоvenusы составляло не более $0,1$ атм, а температура — примерно 160°C . При таких условиях водяной пар продолжал оставаться в атмосфере, поэтому реки и океаны не образовались. На Земле, а тем более на Марсе, из-за большой удаленности от Солнца температура поверхности была ниже, и судьба воды в их геологической истории оказалась иной. Если бы Земля была ближе к Солнцу на $6-10$ млн км, то и она, как и Венера, превратилась бы в раскаленную пустыню.

Взаимодействие силикатных пород коры с углекислым газом атмосферы (продуктом дегазации недр) может обеспечить существование такой массы CO_2 , которая соответствует температуре 500°C и давлению 100 атм. Такое волластонитовое равновесие достигается, по оценкам скорости протекания реакций, всего за 10 млн лет, если считать, что температура поверхности Протоvenusы достигала 130°C .

В 1970 г. американский геохимик Дж. Льюис на основании термодинамических расчетов равновесия тропосферы Венеры с горными породами, состоящими из известных на Земле минералов, попытался предсказать температуру и давление на ее поверхности.

Спустя год, после посадки советской автоматической станции «Венера-7», выяснилось, что одна из моделей Льюиса близко совпадает с реальными замерами температуры и давления, которые практически отвечают условиям волластонитового равновесия.

Многочисленные зондирования венерианской атмосферы показали, что содержание водяного пара существенно разли-



Геохимическая модель венерианской тропосферы [в е р х у] и гипотетический состав пород поверхности планеты в процентах от общего объема [в н и з у]. Предполагается существование восходящих [с п р а в а] и нисходящих [с л е в а] потоков газов в тропосфере с различными концентрациями водяного пара. При взаимодействии нисходящих потоков тропосферы с базальтами [I] и гранитами [II] возникают минералы-новообразования, содержащие воду [амфиболы], серу [пирит и ангидрит]. При взаимодействии с восходящими потоками газов тропосферы с базальтами образуются пирит и ангидрит.

чается как в пространстве, так и в пределах одного вертикального профиля. Мы полагаем, что если эти инструментальные данные верны, то неравномерное распределение водяного пара, а возможно и других малых компонентов, в тропосфере Венеры можно объяснить в рамках модели, учитывающей режим циркуляции атмосферы.

В соответствии с современными концепциями метеорологии Венеры, предполагается, что в глобальных конвективных ячейках подоблачной тропосферы восходящие и нисходящие потоки газов отличаются по составу. Нисходящие потоки, по-видимому, переносят повышенные концентрации водяного пара — продукта термического разрушения капель H_2SO_4 при их опускании в более горячую зону тропосферы. Кроме того, можно предполагать, что нисходящие потоки содержат серу высших степеней окисления — звеньев фотохимических цепей, приводящих к продуцированию конденсированной H_2SO_4 .

В состав нисходящих потоков поступают газообразные продукты взаимодействия приповерхностной тропосферы с горными породами, а также газы глубинного происхождения (вулканизм, газовые струи и т. п.). Очевидно, вероятность повышенных концентраций H_2S , CO_2 , CO и H_2 в таких нисходящих потоках возрастает.

Мы провели расчеты равновесных составов тропосферы по данным анализов, полученных на аппаратах «Венера-11,12» и «Пионер-Венера», и сопоставили их с реальными концентрациями. Оказалось, что химическое равновесие в подоблачной

тропосфере не достигается. Этот вывод подтверждается некоторыми оценками скорости протекания газофазных реакций, которые, как минимум, на порядок ниже, чем скорость перемешивания газов в тропосфере.

Однако высокая контрастность венерианского рельефа, создающая возможность дополнительной циркуляции газов тропосферы, низкая скорость приповерхностных ветров (0,3—1,0 м/с) в сочетании с каталитическим воздействием горных пород на протекание газовых реакций на границе раздела фаз, по-видимому, благоприятны для существования «застойных зон» в слоях приповерхностной тропосферы. Поэтому принцип равновесия может оставаться полезной для расчета модели взаимодействия атмосферы поверхностных пород Венеры.

На современном уровне наших знаний о Венере можно решать задачу обратную той, которую решал Льюис: зная давление и температуру на поверхности и состав тропосферы, включая малые компоненты, можно с помощью методов термодинамики попытаться предсказать минеральный состав пород на поверхности Венеры.

Для построения нашей модели надо принять как минимум два варианта состава тропосферы, представляющие восходящий и нисходящий поток газов. В качестве исходных пород были выбраны земные аналоги: базальты и граниты.

Далее рассчитывался равновесный состав многокомпонентной системы. Метод расчета сводится к отысканию таких количественных соотношений возможных фаз в системе, которым соответствует минимальное значение функции свободной энергии Гиббса всей системы, т. е. состоянию химического равновесия.

Оказалось, что при взаимодействии восходящих потоков тропосферы с базальтами могут образоваться сульфиды (пирит) и сульфаты (ангидрит). Эти минералы представляют собой «буферную» смесь, сам факт присутствия которой определяет постоянство определенного химического параметра (в данном случае, степени окисления).

Так, буферная смесь гематит-магнетит поддерживает строго определенное соотношение двух- и трехвалентного железа в системе, т. е. «устанавливает» парциальное давление кислорода над минералами. Изменение этого соотношения происходит только при исчерпании запаса реагирующих веществ в буферной смеси, т. е. при окис-

лении всего магнетита до гематита или при восстановлении всего гематита до магнетита.

Твердофазовые буферные смеси в такой термостатированной глобальной системе, какой является поверхность Венеры, могут определять химический режим ее тропосферы. Поэтому степень окисления приповерхностных слоев тропосферы, вероятно, регулируется существующей ассоциацией сульфидных и сульфатных минералов в породах венерианской коры.

Согласно гипотезе волластонитового равновесия, атмосферное давление на поверхности Венеры (100 атм) определяется ассоциацией кварц + кальцит + волластонит. Однако наши расчеты показали, что кальцит может быть стабильным только в экзотических горных породах, аналогичных по составу редко встречающимся земным ультращелочным лавам. Если на Венере щелочные породы столь же редки, как и на Земле, то в современных условиях волластонитовое равновесие вряд ли определяет давление углекислого газа и пополнение его запасов в атмосфере Венеры происходит за счет вулканической деятельности.

При взаимодействии нисходящих газовых потоков тропосферы с базальтами, помимо пирита и ангидрита, за счет первичных минералов образуются амфиболы, содержащие связанную воду в форме гидроксильных групп.

Расчеты показали, что породы типа гранитов при воздействии атмосферных газов преобразуются слабо, причем минералы, содержащие воду, не возникают. Если кислые породы в самом деле занимают обширные пространства на поверхности планеты, то «емкость» венерианской коры как поглотителя водяного пара не так уж велика.

Необходимо подчеркнуть, что методы химической термодинамики дают возможность найти наиболее вероятное сочетание минеральных фаз при условии равновесия в системе породы — тропосфера, т. е. указывают на направление химических реакций. Последовательность и полнота протекания процессов предполагаемого химического выветривания остается невыясненной. Значит, пока мы не можем сказать, существует ли на Венере формация своеобразных метаморфогенных пород или только маломощные поверхностные пленки. Теоретически решить этот вопрос трудно из-за отсутствия количественных данных по кинетике химических реакций, протекающих в системе порода — тропосфера, по-

лучение которых — задача будущих исследований.

Отсутствие гидросферы на Венере и состав ее облачного слоя определяют повышенный интерес к геохимическому балансу летучих.

Если процессы дифференциации планетного вещества Земли и Венеры развивались по общим законам и их первичный состав был одинаков, то следовало бы ожидать совпадения количества летучих, выделившихся в процессе дегазации.

Масса углекислого газа в литосфере, гидросфере и атмосфере Земли сопоставима в пределах порядка величины с массой CO_2 в атмосфере Венеры, а количество карбонатов в ее коре, согласно нашим прогнозным расчетам, крайне незначительно. Отмечается также и примерное равенство запасов азота.

Оценка масс серы, хлора и фтора в газовой фазе и аэрозолях облаков Венеры показала, что эти количества на несколько порядков меньше, чем в венерианской коре, при условии равенства общих запасов этих летучих на Земле и Венере.

Выше мы показали, что сера в породах венерианской коры может фиксироваться в форме пирита и ангидрита. Расчеты многокомпонентных систем типа порода—тропосфера дают возможность установить при какой концентрации летучих в газовой фазе, например хлора и фтора, возможно их вхождение в состав твердых минералов. Если концентрация летучего ниже этого порога, соответствующие минералы, содержащие хлор и фтор, не образуются.

Оказалось, что такие теоретически вычисленные пороговые концентрации HCl и HF на порядок выше их спектроскопических оценок для верхней границы облаков. Значит, при условии химического равновесия пород поверхности с тропосферой хлор и фтор связаны не только в минералах, но и в составе облачного слоя. Этот вывод справедлив, конечно, при условии, что не все запасы венерианского хлора и фтора сосредоточены в атмосфере.

Возникает вопрос, можно ли ожидать равенства планетарных запасов воды на Земле ($2,3 \cdot 10^{24}$ г) и Венере подобно тому, как это предполагают в отношении углекислого газа и азота. В венерианской атмосфере содержание водяного пара по максимальной оценке в 1000 раз меньше суммарного земного запаса. До получения анализа венерианских пород содержание воды в ее коре может быть оценено только теоретическим путем.

Льюис считает, что вследствие пер-

вичной неоднородности химического состава протопланетного облака вещество Венеры было резко обеднено водой, поэтому на планете никогда не было значительного количества воды ни в атмосфере, ни в коре.

По нашему мнению, более перспективна альтернативная точка зрения и следует внимательно рассмотреть как вопрос о связывании воды в породах венерианской коры, так и возможный механизм ее потери на каких-то ступенях развития планеты.

Существенную роль, по нашим оценкам, могут играть процессы поглощения воды при взаимодействии пород поверхности с тропосферой (гидратация). Согласно гипотезе теплового режима недр Венеры, выдвинутой недавно С. В. Маевой и Е. Л. Рускол, при температурном градиенте $7-12^\circ \text{C}$ на километр температура на глубине 5 км достигнет $500-530^\circ \text{C}$. Тогда при более высоких температурах все минералы, содержащие воду, становятся неустойчивыми, поэтому запас воды в коре вряд ли превышает 10^{23} г (при среднем содержании около 1 вес. % H_2O). Если эта оценка подтвердится будущими космическими экспериментами, венерианскую кору можно считать существенным резервуаром связанной воды.

Расход воды в процессе геологической эволюции планеты Венера возможен при окислении водяным паром соединений железа, углерода, ряда металлов, связанных в породах коры, или при фотолитической диссоциации водяного пара под воздействием солнечной радиации.

Соотношение скоростей этих двух процессов: фотоллиза водяного пара и его поглощения горными породами — играет решающую роль в попытке реконструкции состава древней атмосферы Венеры. Оба пути разрушения молекул воды приводят к появлению свободного водорода, поэтому скорость его отлета существенно будет влиять на состав атмосферы.

Согласно Дж. Уолкеру, разработавшему оригинальную схему эволюции состава атмосферы Венеры, на первом этапе продолжительностью всего в 30 млн лет атмосфера планеты состояла на 2/3 из водяного пара и на 1/3 из углекислого газа, причем эти оба компонента — продукты дегазации ее твердых оболочек. Давление на поверхности Прото Венеры было, вероятно, вчетверо выше, чем сейчас.

Из такой преимущественно водной атмосферы водород мог «убегать» в миллион раз быстрее, чем из современной атмосферы. Окисление горных пород молекулярным кислородом происходит гораздо

медленнее, поэтому происходило накопление свободного кислорода, так что через 200 млн лет венерианская атмосфера могла состоять из примерно равного количества воды, кислорода и углекислого газа.

Если скорость поглощения кислорода венерианскими породами такая же, как и на Земле, для связывания всего кислорода потребуется около 4 млрд лет. Значит, современная углекислая атмосфера совершенно не похожа на древнюю.

Если окисление железа водяным паром атмосферы до трехвалентного захватывало все вещество венерианской коры мощностью около 35 км, то масса израсходованной воды, по нашим оценкам, достигнет почти 10^{24} г. При таком прогнозе запасы воды на Земле и Венере будут соизмеримы в пределах одного порядка величины.

Ответ на вопрос: имела ли в древности Венера преимущественно водную атмосферу, может быть решен с помощью определения отношения концентраций изотопов легкого и тяжелого водорода в верхней атмосфере планеты.

Известно, что «убегание» легкого водорода оставляет «следы» в виде концентраций тяжелого изотопа — дейтерия, который удерживается гравитационным полем планеты в ее верхней атмосфере. Однако, к сожалению, попытки определить отношение изотопов водорода в венерианской атмосфере пока не дали достоверных результатов. Если окажется, что дейтерий не накапливался и отношение водорода к дейтерию того же порядка, что и в земной атмосфере, то гипотеза первичной неоднородности летучих в протопланетном облаке получит очень сильные аргументы, а представление о древней водной атмосфере Венеры придется оставить.

История воды и углекислоты — создателей «парникового эффекта» в атмосферах планет земной группы — представляет собой увлекательную и почти нерасшифрованную летопись. Ее прочтение необходимо не только для познания истории Земли, но и предсказания изменений ее климата в будущем.

В этом плане изучение атмосферы и поверхности планеты Венера приобретает непосредственный практический интерес, а теоретический прогноз минерального состава венерианской коры помогает сузить поле научного поиска.

МСТИСЛАВ ВСЕВОЛОДОВИЧ КЕЛДЫШ

К 70-летию со дня рождения

В феврале этого года научная общественность нашей страны отмечает 70-летие со дня рождения выдающегося математика и механика, организатора советской науки, государственного и общественного деятеля, президента Академии наук СССР (1961—1975), трижды Героя Социалистического Труда академика Мстислава Всеволодовича Келдыша. В связи с юбилеем редакция «Природы» обратилась к известным советским ученым академикам Михаилу Алексеевичу Лаврентьеву* и Леониду Ивановичу Седову с просьбой поделиться воспоминаниями о М. В. Келдыше, который был их другом и вместе с которым они решили ряд сложных задач в области математики и механики.

Выдающийся ученый и организатор советской науки и техники

Академик Л. И. Седов

Мстислав Всеволодович Келдыш родился 28 января (10 февраля) 1911 г. в Риге, скончался 24 июня 1978 г. в поселке Жуковка Московской области, похоронен в Москве на Красной площади у Кремлевской стены. М. В. Келдыш был первоклассным ученым, крупным организатором и руководителем творческих коллективов, успехи которых войдут в историю как одни из главных и характерных научных достижений XX в.

Ему принадлежат выдающиеся научные работы, в которых заложены основы ряда современных теорий и разрешены конкретные задачи первостепенного научного и практического значения. Поразительное умение схватывать и выделять главное в сложных проблемах различных наук обеспечивали успехи М. В. Келдыша и как ученого и как организатора науки. Он отличался чрезвычайной разносторонностью научных интересов и был признанным всеми авторитетом во многих важнейших областях, которые определили современ-

ный научно-технический прогресс: в самолетостроении, ракетной технике, в использовании атомной энергии и электронной вычислительной техники.

Одновременно с этим он стоял в ряду блестящей плеяды советских математиков. Первые его работы по математике посвящены применимости методов Бубнова — Галеркина к неконсервативным системам, т. е. вопросу, являвшемуся предметом многолетней дискуссии. Положительный ответ на него давал в руки исследователей эффективное средство решения ряда технических задач. М. В. Келдыш провел полный анализ применимости методов Бубнова — Галеркина и доказал сходимость получающихся решений во всех практически важных случаях как для обыкновенных уравнений, так и для уравнений с частными производными.

В теории потенциалов он провел глубокое исследование разрешимости задачи Дирихле — классической проблемы математического анализа. Вопрос о характеристике областей, в которых эта задача разрешима, привлекал внимание ряда крупных исследователей. Однако именно М. В. Келдыш дал теорию разрешимости задачи Дирихле в зависимости от характера граничных данных. Важным и принци-

* 15 октября 1980 г., когда эти материалы готовились к печати, Михаил Алексеевич Лаврентьев скончался.



МСТИСЛАВ ВСЕВОЛОДОВИЧ КЕЛДЫШ

пиально новым шагом является постановка вопроса об устойчивости решений задачи Дирихле при изменении границы области и граничных данных. М. В. Келдыш совместно с М. А. Лаврентьевым указали на возможность неустойчивости решения задачи Дирихле и дали законченную теорию этого вопроса. Было показано, что для устойчивости решения задачи Дирихле внутри области необходимо и достаточно, чтобы множество точек неустойчивости на границе области имело гармоническую меру, равную нулю. Иначе говоря, устойчивость в замкнутой области обеспечивается отсутствием точек неустойчивости на границе.

Не перечисляя всех результатов по теории потенциала, отметим участие

М. В. Келдыша в разработке эффективных решений граничных задач с уравнением Лапласа для плоскости с прямолинейными разрезами. Эти решения нашли приложения в ряде задач гидродинамики, в теории упругости и в других областях прикладной механики.

М. В. Келдышу и М. А. Лаврентьеву принадлежат также классические результаты о единственности решения задачи Неймана в областях, ограниченных поверхностями Ляпунова.

В теории функций комплексного переменного результаты М. В. Келдыша по приближению функций комплексного переменного рядами полиномов являются ведущими в этой области математики. Здесь

им поставлены и решены основные проблемы, и в частности разработана теория систем ортогональных полиномов по контуру и по площади области. Вместе с М. А. Лаврентьевым М. В. Келдыш впервые указал области, в которых система ортогональных полиномов, полная по контуру границы области, не полна по ее площади, и разрешил основные вопросы о полноте систем ортогональных полиномов по площади области. М. В. Келдышу принадлежат замечательные теоремы о возможности введения весов, обеспечивающих полноту ортогональных полиномов в любой односвязной области. Эти результаты тесно связаны с приближенными методами конформных отображений. Нужно также отметить установление сходимости на границе области полиномов Бибераха для конформного отображения. М. В. Келдышу удалось разрешить до конца весьма трудную задачу о представлении функции равномерно сходящимися рядами полиномов в замкнутых областях. Отметим, что эти вопросы, привлекавшие внимание многих советских и иностранных ученых, долгое время оставались нерешенными.

Весьма крупным достижением М. В. Келдыша является создание и развитие теории приближения функций целыми функциями в комплексной и в действительной областях, позволяющей приводить изучение свойства функций действительного и комплексного переменного к изучению свойств целых функций. Упомянем также об исчерпывающих исследованиях М. В. Келдыша по приближению функций гармоническими полиномами.

Для дифференциальных уравнений с частными производными, тип которых вырождался на части границы области искомого решения, М. В. Келдышем были установлены способы задания граничных условий и корректной постановки задач в зависимости от характера вырождения.

М. В. Келдышу принадлежит решающий вклад в теорию несамосопряженных систем дифференциальных операторов с частными производными. Он доказал полноту системы собственных и присоединенных функций, а для линейных операторов изучил асимптотическое поведение собственных значений. В связи с этой теорией М. В. Келдыш сформулировал новые теоремы тауберова типа и применил оригинальные методы их доказательства. Все дальнейшие современные работы по теории несамосопряженных операторов опираются на теорию, развитую М. В. Келдышем.

С именем М. В. Келдыша связано практическое внедрение современных вычислительных машин для обработки громадных потоков поступающей информации и развитие машинной математики в СССР, создание эффективных методов численного решения сложных математических задач. Под его руководством с применением в широких масштабах быстродействующих счетных машин весьма успешно были решены важные задачи, поставленные развитием атомной и космической техники.

Успехи М. В. Келдыша объясняются как поразительной силой его исследовательской мысли, так и умением сочетать самые совершенные теоретические и экспериментальные методы. Всю свою жизнь он был самым тесным образом связан с математикой. В 1931 г. М. В. Келдыш окончил механико-математический факультет Московского университета. Начало его научной деятельности проходило в Центральном аэрогидродинамическом институте им Н. Е. Жуковского (ЦАГИ). В 1934 г., не оставя работы в ЦАГИ, он поступает в докторантуру Математического института АН СССР им. В. А. Стеклова. Долгое время он работал в нем (одновременно с работой в отраслевых промышленных институтах) старшим научным сотрудником (1938—1946), а в 1946 г. становится заведующим отделом механики и заместителем бессменного директора института И. М. Виноградова, с которым М. В. Келдыш был тесно связан и который всячески его поддерживал. Математический институт всегда славился своим высоким научным уровнем и является крупнейшим в мире математическим центром, в котором работали и сформировались многие знаменитые ученые, имеющие первоклассные достижения в математике и ее приложениях в механике, физике, технике и других науках. Здесь М. В. Келдыш приобрел глубокую теоретическую подготовку, умение правильно и ответственно формулировать и решать математические задачи, что стало залогом всей его дальнейшей успешной деятельности.

В 1953 г. из Математического института им. В. А. Стеклова выделился во главе с М. В. Келдышем новый институт — Институт прикладной математики АН СССР, директором которого он оставался до конца своей жизни и который теперь носит его имя. Деятельность этого института тесно связана со многими актуальнейшими приложениями математики к

различным отраслям науки и техники. В этом же году М. В. Келдыш стал академиком-секретарем отделения математики АН СССР.

Уже во времена Н. Е. Жуковского и С. А. Чаплыгина, заложивших научные основы авиации и организовавших в Москве Центральный аэрогидродинамический институт, была осознана необходимость как математической формулировки задач, возникающих в процессе создания новой техники, так и их решения с использованием последних достижений математики и естественных наук. В самом начале 30-х годов для работы в ЦАГИ были привлечены многие первоклассные ученые — механики и математики — и ряд молодых, хорошо зарекомендовавших себя выпускников механико-математического факультета МГУ. Одним из них был талантливый теоретик-математик и механик М. В. Келдыш, который быстро занял ведущую роль среди ученых и инженеров ЦАГИ.

В 30-х годах под руководством С. А. Чаплыгина в ЦАГИ плодотворно работали научный семинар, на котором докладывались и которым стимулировались многие исследования по аэродинамике, гидродинамике, теории устойчивости движений механических систем и теории динамической прочности конструкций. Теоретические достижения участников семинара имели большое значение в развитии этих разделов науки и вплоть до самого последнего времени предопределяли многие успехи в области бурного развития авиации, в практике создания судов, движущихся с большими скоростями, и во многих других разделах техники. М. В. Келдыш принимал активное участие в работе этого семинара.

В теории обтекания крыльев с учетом сжимаемости воздуха М. В. Келдышем совместно с Ф. И. Франклем были получены важные результаты о свойствах подъемной силы. М. В. Келдыш решил ряд задач в теории волнового сопротивления движению судов и в теории устойчивости упругой конструкции самолетов при полетах с большими скоростями. Его работы по нестационарной аэродинамике были тесно связаны с исследованиями по вибрации крыльев летящих самолетов.

Вместе с М. А. Лаврентьевым М. В. Келдышу удалось вывести формулы для тянущей силы и рассмотреть различные гипотезы, положенные в основу применения нестационарной аэродина-

мики. В частности, была дана точная формулировка гипотезы стационарности и проанализированы условия возможного ее применения.

В теории движения тяжелой жидкости М. В. Келдыш вместе с М. А. Лаврентьевым изучили волновое сопротивление крыла, движущегося под свободной поверхностью воды. Они также дали решение задачи об ударе пластинки о поверхность водного слоя конечной глубины, когда вода считается несжимаемой. В 1935 г. М. В. Келдыш дал общее решение задачи о поведении фронта морских волн для некоторых углов наклона дна, примыкающего к берегу.

М. В. Келдыш предложил способ решения задач о волновых движениях жидкости с применением функций комплексного переменного. Этот метод был развит в ряде работ других авторов. В работе по теории волнового сопротивления при его участии была дана формула для расчета волнового сопротивления движению в канале корабля типа Митчелла с учетом влияния ширины и глубины канала.

Работы М. В. Келдыша по гидродинамике, которые он докладывал в 1937 г. на проводившейся в ЦАГИ конференции по теории волнового сопротивления движению тел внутри или по поверхности воды, содержат далеко развитую теорию, значительно опередившую уровень мировой науки того времени. К сожалению, эти работы, напечатанные относительно небольшим тиражом, остались малоизвестными. До сих пор содержащиеся в них результаты открываются заново зарубежными учеными.

Очень интересной была работа М. В. Келдыша, в которой доказывалось, что известный результат С. А. Чаплыгина о параболе устойчивости для моноплана сохраняет свою силу и в общем случае для произвольной системы профилей самолетов. До этого различные авторы проводили такого рода обобщения только для частных случаев.

В совместной работе М. В. Келдыша и Ф. И. Франкля дан приближенный метод анализа вихревой пелены за винтом и ее определение для винтов типа НЕЖ (Н. Е. Жуковский). Доказано, что разработанный ими метод решения сходится для слабо нагруженного винта.

Особенно большое практическое значение имели проведенные М. В. Келдышем и руководимыми им сотрудниками исследования по колебаниям и автоколебаниям авиационных конструкций. В них была разработана теория флаттера само-

лета — грозного явления, связанного с возникновением внезапных лавинообразно нарастающих амплитуд колебаний, ведущих к разрушению самолета при достижении некоторой достаточно большой скорости полета. Были созданы методы численного расчета флаттера, его моделирования в аэродинамических трубах и предложены практические меры по борьбе с ним. Были предложены также эффективные способы демпфирования колебаний, чем и обеспечивалась устойчивость упругих систем самолета в нестационарных условиях обтекания воздухом.

М. В. Келдышем было изучено явление шимми — самовозбуждающихся колебаний переднего колеса шасси при взлете и посадке самолетов. Ему принадлежит математическая постановка задачи с учетом упругих деформаций катящегося пневматика колеса при наличии специальных связей качения. На основании созданной М. В. Келдышем теории и с его участием были найдены простые конструктивные решения, предупреждающие появление шимми.

Вскоре после Великой Отечественной войны М. В. Келдыш становится непосредственным организатором и научным руководителем крупных коллективов, работающих в области математики и механики и принимающих активное участие в разработке крупнейших научных и технических проблем государственного значения. Его деятельность в этом направлении имела первостепенное значение вплоть до последних дней жизни. Многие достижения в области создания новой авиационной, ракетной и космической техники, использования атомной энергии, создания и применения современных вычислительных машин и систем управления непосредственно связаны с его именем. Наряду с этим М. В. Келдыш оказывается в центре решения проблем, связанных с развитием советской науки в целом. В 1960 г. он избирается вице-президентом, а в 1961 г. — президентом Академии наук СССР. Этот пост он занимал до 1975 г. Членом Президиума АН СССР М. В. Келдыш оставался до конца своей жизни.

М. В. Келдыш был одарен способностью глубокого и критического восприятия существа главных соотношений, скрытых в огромной информации, которая поступала от исследовательских и опытно-конструкторских коллективов и дополнялась практическими эксплуатационными

данными. Он умел привлечь к разработке той или иной проблемы различных специалистов, разные учреждения и обеспечить их взаимодействие. Без этого вообще невозможна была бы реализация комплексных задач, выполнявшихся в очень сжатые сроки. Его влиянием определялся высокий уровень исследований, которые обеспечивали создание различных оригинальных инженерных конструкций для многих объектов и аппаратов. Достиженные успехи были связаны и с подбором ответственных исполнителей.

Деятельность М. В. Келдыша как руководителя советской науки была основана на разработке организационных форм и стимулов, которые могли бы обеспечить автоматическое оптимальное саморегулирование и высокую продуктивность исследований.

В наше время в науке, как и в других областях человеческой деятельности, требуется создание и использование как автоматически саморегулирующихся аппаратов и машин, так и организационных систем. Прошло время, когда результативность и производительность труда обеспечивались понуканиями со стороны мечущихся и перегруженных, зачастую недостаточно компетентных лиц, которые безуспешно пытаются объять необъятное и управлять «вручную» разными быстро протекающими явлениями и процессами.

М. В. Келдыш умел находить и ценить сотрудников, которые действительно являлись перспективными творческими работниками и которые были в состоянии успешно ставить и решать нужные задачи. Честность, правдивость и глубокая заинтересованность в научно-педагогической и технической деятельности в сочетании с чувством высокой ответственности перед обществом являются качествами руководителя, обеспечивающими ему авторитет, необходимый для слаженной деятельности в коллективных работах. Именно эти качества были характерны для М. В. Келдыша, и он требовал их от других.

Часто повторяя, что продуктивность комплексных исследований немыслима без широкого фронта работ мощных коллективов, М. В. Келдыш вместе с тем подчеркивал, что прогресс в науке связан с высоким качеством работ, обусловленных обязательным наличием в коллективах небольшого ядра высококвалифицированных, творчески активных ученых и конструкторов. Если таких специалистов нет, то только число научных работников и число институтов обеспечить успех не-



М. В. Келдыш, профессор Л. Г. Лойцянский (автор известных учебников и монографий по механике жидкости и газа. Долгое время работал в ЦАГИ) и Л. И. Седов.

возможно. К сожалению, этой простой истиной нередко пренебрегают.

Благодаря силе своего математического мышления и совершенному владению логическими методами анализа, М. В. Келдыш умел вникать в сущность проблем многих наук, с которыми ему приходилось иметь дело в Академии наук. Ему удавалось выявлять неверные, догматические трактовки и опровергать их. Дело в том, что он, конечно, очень хорошо понимал, что основные фундаменты различных наук в общем просты и немногочисленны и вполне доступны ученым, являющимся специалистами в других областях.

Он был главным арбитром при оценке перспективности многих исследований в различных областях знания и решал вопрос о целесообразности их дальнейшего стимулирования. Выработанные им критические традиции, способствовавшие научно-техническому прогрессу, очень важны и в настоящее время продолжают успешно развиваться.

Всегда важно правильно поставить задачу, найти и указать главные механизмы, наиболее существенные величины, определяющие изучаемые эффекты, и отбросить неизменно присутствующие второстепенные, побочные влияния, иначе говоря, сформулировать задачу математически. Все это было особенно ценно в той большой работе, которую проводил М. В. Келдыш и которая дала общеизвестные замечательные плоды.

Руководителям большого масштаба приходится встречаться с различного рода

«чрезвычайными происшествиями». В истории авиации, развития космических полетов и других областей техники известны катастрофы, аварии и другие опасные явления. Успешное осуществление работ по устранению или дальнейшему предотвращению подобных явлений оказалось возможным благодаря внедрению М. В. Келдышем критически апробированных строгих и ответственно изложенных теоретических выводов, обоснованных специально поставленными экспериментами.

Многие серьезнейшие недостатки в различного рода научных теориях и в практике, не всегда очевидные для некомпетентных людей, иногда дают о себе знать спустя долгое время, через десятилетия, после чего их устранение также требует десятилетий упорной работы, что чревато утратой темпов прогресса и сказывается на общем уровне науки, техники и на общих жизненных стандартах.

В качестве подобных примеров можно вспомнить бытовавшее у нас в течение короткого времени отрицательное отношение к квантовой механике и кибернетике. Нельзя не вспомнить и о биологии. Особенный вред был причинен науке о наследственности, что послужило, в частности, серьезным тормозом для развития и совершенствования сельского хозяйства. В биологии основная беда произошла из-за отсутствия в течение долгого времени условий для открытой научной критики. Теперь эти ошибки ясно поняты и уже давно устранены, в том числе благодаря энергичной деятельности М. В. Келдыша, но их последствия ощущаются до сих пор.

Как известно, большое значение в развитии культуры имеют популярные книги. Но они могут принести и вред, если неправильно представляют достижения науки, написаны на низком уровне. Если искаженное знание усваивается в раннем возрасте, переучить потом довольно сложно.

М. В. Келдыш неоднократно отмечал, что современная наука и техника требуют, как правило, больших материальных затрат и концентрации сил больших коллективов. Поэтому всякие научные ошибки и просчеты дорого обходятся стране и могут привести к потере престижа отечественной науки.

Несмотря на всю свою занятость, М. В. Келдыш во многих конкретных случаях прилагал немало усилий для разоблачения ошибочных теорий в каза-

лось бы далеких от него сферах и для критической оценки плохих работ. Он активно участвовал в дискуссиях и в разработке мер по совершенствованию школьных учебников по математике. Несомненно, что такого рода работа требует своего продолжения.

Надо отметить специально, что М. В. Келдыш придавал очень большое значение завоеваниям советской науки, ее приоритету в различных областях и неустанно заботился о ее престиже. Он очень болезненно воспринимал всякого рода стремления унижить или умалить достижения советской науки и бывал необычайно рад, когда советские ученые добивались крупных успехов мирового класса.

Как известно, наука по своему существу интернациональна. Вместе с тем международные контакты порождают множество ситуаций, связанных для разных сторон с личными интересами отдельных ученых или некоторых групп ученых. Иногда встречается стремление разрешать внутренние противоречия на международной основе, на почве низкопоклонства перед всем иностранным. С самого начала истории нашей Академии наук М. В. Ломоносов объявил войну этому позорному явлению и всячески ратовал за достоинство и славу отечественной науки. Он добился в этом отношении больших успехов. Впоследствии эти начинания М. В. Ломоносова были продолжены многими видными учеными. Аналогичные явления в очень острой форме можно отчетливо наблюдать и в зарубежных странах. Умение М. В. Келдыша отличать существо дела от посторонних, ненаучных влияний обеспечивало у нас здоровую научную атмосферу в международном плане.

Для характеристики М. В. Келдыша отметим еще, что он внимательно выслушивал своих собеседников, и хотя на него трудно было влиять, тем не менее он всегда учитывал ценную информацию и общаемые ему правильные выводы. В тех немногих случаях, когда его действия содержали некоторые промахи, он открыто признавал свои упущения. Это никогда не приносило ему ущерба, а наоборот, укрепляло его авторитет.

В частной жизни М. В. Келдыш был общителен, любил классическую музыку, был знатоком художественной литературы, увлекался живописью. У него дома была большая коллекция, состоявшая из репродукций картин знаменитых художников.

Как и все крупные ученые, он с интересом обсуждал этапы становления наук в историческом плане, а также роль и основные творческие достижения знаменитых ученых с точки зрения прошлого и настоящего. При этом он умел выявить принципиальные трудности на путях развития науки.

Деятельность М. В. Келдыша на посту президента Академии наук СССР способствовала росту ее дальнейшего авторитета, как штаба науки, на который возлагается большая ответственность за плодотворное развитие исследовательских работ в нашей стране и который способствует развитию исследований в от-

раслевых институтах и вузах. М. В. Келдыш много сделал для того, чтобы Академия наук СССР активно взаимодействовала с академиями союзных республик, с научными учреждениями социалистических стран и развивала международное сотрудничество.

Всею своей жизнью М. В. Келдыш являл пример выдающегося ученого и организатора науки. Стиль повышенной ответственности, глубокой обоснованности и надежности как научных выводов и заключений, так и организационных решений, введенный М. В. Келдышем в практику научной работы, должен оставаться в нашей жизни и теперь, после его кончины.

Воспоминания о М. В. Келдыше

Академик М. А. Лаврентьев

1

Мое первое знакомство с М. В. Келдышем произошло вскоре после того, когда я с родителями переехал из Казани в Москву. Примерно в этот же год в Москву переехала и семья Келдышей. Старшая сестра Мстислава Всеволодовича — Людмила — сразу поступила в Московский университет на математический факультет. Среди профессоров факультета были Д. Ф. Егоров и Н. Н. Лузин. Формально главой факультета являлся Егоров, но фактическим главой был Лузин, около которого собралась молодежь — П. С. Александров, П. С. Урысон, А. Н. Колмогоров, А. И. Мальцев, П. С. Новиков, Н. К. Бари, С. С. Ковнер, В. В. Степанов, Л. А. Люстерник, П. И. Привалов и др. В этой группе оказались и мы с Л. В. Келдыш. Школа Лузина получила название «Лузитания», а ее сотрудники — лузитанцев. М. В. Келдыш к этому времени окончил среднюю школу и, при участии сестры, начал самостоятельно с успехом изучать математику по программе первого курса университета. В течение года он стал равноправным членом Лузитании. Сначала

нам с ним удалось решить одну из задач, поставленных Лузиным. Вскоре нас стал приглашать к себе профессор Привалов; он заинтересовал нас проблемами теории функций комплексного переменного (область математики, сыгравшая большую роль в развитии гидродинамики и особенно в решении проблем авиации).

В 1934 г. был организован Математический институт во главе с академиком (бывшем ленинградцем) И. М. Виноградовым. В институт была принята часть лузитанцев и переведена группа ученых из Ленинграда. С самого начала в институте был создан ряд отделов по разным направлениям современной математики; среди них — отдел по теории конформных и квази-конформных отображений (в двух- и трехмерных пространствах), в котором работали мы с М. В. Келдышем.

Академик Виноградов любил научные споры. Один из них коснулся и нас с М. В. Келдышем. На семинаре у Виноградова делал доклад крупный ленинградский ученый. Он провел ряд выкладок, но результата не получилось. Ученый тут же



М. В. Келдыш и М. А. Лаврентьев. Фото начала 1960-х годов.

сказал, что он пытается решить эту проблему уже более десяти лет и убежден в ее неразрешимости. Мы с М. В. Келдышем тихо ушли в другую комнату и, используя подходы с разных сторон, получили полное решение проблемы. Тут же вернулись к Виноградову на семинар и показали мрачному ленинградцу, как до конца решается «проблема» нашим методом.

В 30-х годах оборонная промышленность стала привлекать для решения новых проблем ученых разных специальностей, и особенно математиков. Я по приглашению академика С. А. Чаплыгина начал заниматься проблемами авиации в нашем самом крупном авиационном центре — ЦАГИ. С согласия Чаплыгина я привлек к работе М. В. Келдыша, а также

Л. И. Седова, Г. И. Петрова, Л. А. Люстерника, А. О. Гельфонда и др.

Чаплыгин и его главные конструкторы поставили перед нами ряд проблем по прочности и устойчивости разных видов самолетов. Одним из первых, кто от математики перешел к особенно нужным техническим задачам, был М. В. Келдыш. Он выяснил причину аварий при взлете и посадке самолетов, а также вместе с Л. И. Седовым придумал метод сохранения устойчивости самолета при разных новых ситуациях.

В самый разгар новой работы произошел курьезный случай. Н. Н. Лузин случайно встретил на улице отца М. В. Келдыша — В. М. Келдыша. Лузин стал говорить о большой беде с сыном собеседника. Что случилось? Лузин сказал прямо: ваш сын попал к Лаврентьеву, который его погубит, уведет очень способного к большой математике человека в прикладную математику на мелкие задачи.

Работа в ЦАГИ дала М. В. Келдышу большой опыт решения проблем механики, который сыграл свою роль, когда М. В. Келдыш был привлечен к работам по созданию космических кораблей.

Создание космических кораблей и атомных устройств требовало решения трудных математических задач с применением новой вычислительной техники. Таки-ми задачами и занялся коллектив ученых под руководством М. В. Келдыша.

Не буду напоминать здесь о научных достижениях М. В. Келдыша — они хорошо известны. Мне приятно вспомнить о совместных поездках по примечательным местам нашей Родины.

В середине 30-х годов мы вместе с М. В. Келдышем выступили с пленарными докладами на международной конференции по применению методов теории функций в механике сплошной среды, проходившей под руководством Н. И. Мухелишвили в Тбилиси. В свободное время наряду с обсуждением математических проблем мы рассматривали разные парадоксальные случаи. Вот один из примеров. Мухелишвили поставил перед нами счеты на ребро — все спицы оказались в вертикальном положении — и показал, что если оказавшийся верхним диск закрутить пальцем, то он полетит вверх. Нам с М. В. Келдышем этот эффект показался сначала загадочным, но во время прогулки мы вскрыли сущность этого явления на базе классической механики. Было приятно, что нам удалось сделать это.

После окончания конференции мы поехали в горный район, где прожили около двух недель в поисках решения ряда математических задач. Когда задача оказывалась особенно трудной, мы расходились на несколько часов. При обоюдной неудаче рассказывали друг другу про неудавшиеся попытки и часто, объединяя отдельные попытки, находили полное решение.

Последние годы своей жизни М. В. Келдыш провел в огромном напряжении, особенно годы, когда он был президентом АН СССР. На его плечи легли большие и трудные организационные дела.

Надо также отметить, что кроме общих академических дел, М. В. Келдыш много занимался проблемами космоса и научными делами своего института.

Безвременная смерть М. В. Келдыша была огромной потерей для Академии наук, для нашей страны, для всех его близких друзей. Он оставил после себя большое научное наследие, группы своих последователей — талантливую молодежь, которая, я уверен, с успехом продолжит начатое М. В. Келдышем.

НОВОСТИ НАУКИ

Организация науки

Золотая медаль им. М. В. Келдыша — академику Г. И. Марчуку

Академия наук СССР учредила золотую медаль им. М. В. Келдыша. Медаль присуждается один раз в три года советским ученым за выдающиеся научные работы в области прикладной математики и механики, а также теоретических исследований по освоению космического пространства.



Лицевая и оборотная стороны золотой медали им. М. В. Келдыша.

По решению Президиума АН СССР первая золотая медаль им. М. В. Келдыша присуждена в 1981 г. академику Гурью Ивановичу Марчуку за цикл работ «Развитие и создание новых методов математического моделирования»¹.

¹ См. в этом номере: Медаль общей циркуляции атмосферы и океана, с. 117.

Зеркальная симметрия и деление ядер

Г. В. Данилян



Георгий Вардкесович Данилян, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института теоретической и экспериментальной физики. В последние годы занимается экспериментальным исследованием эффектов нарушения принципов симметрии в различных ядерных процессах.

Законы сохранения составляют основу современной физики. Все они являются следствиями фундаментальных свойств пространства — времени — свойств симметрии. Наиболее «естественной» из них, вероятно, является зеркальная симметрия, утверждающая равноправие левого и правого в пространстве. Действительно, трудно себе представить пустое пространство (т. е. пространство, свободное от тел, создающих вокруг себя силовое поле), в котором одно из этих двух направлений было бы чем-то выделено. Поэтому разумно предполагать, что и физические процессы в «предзеркалье» и «зазеркалье» протекают одинаково, или, как принято говорить, законы природы должны быть инвариантны относительно инверсии координат — изменения направления всех трех координатных осей на противоположное. Чтобы выразить это условие математически, в квантовой механике пришлось ввести понятие пространственной четности и соответствующего закона сохранения, согласно которому четность системы при переходах ее из одного квантового состояния в другое не может изменяться произвольным образом. Совокупность экспериментальных данных, накопленных к середине 50-х годов, свидетельствовала о справедливости закона сохранения четности в многообразных явлениях приро-

ды — атомных процессах, сильных и электромагнитных взаимодействиях частиц. (Как впоследствии выяснилось, не проверялся этот закон лишь для процессов, обусловленных слабым взаимодействием. К таким процессам относятся, в основном, медленные распады¹ частиц, такие, например, как β -распад ядер.)

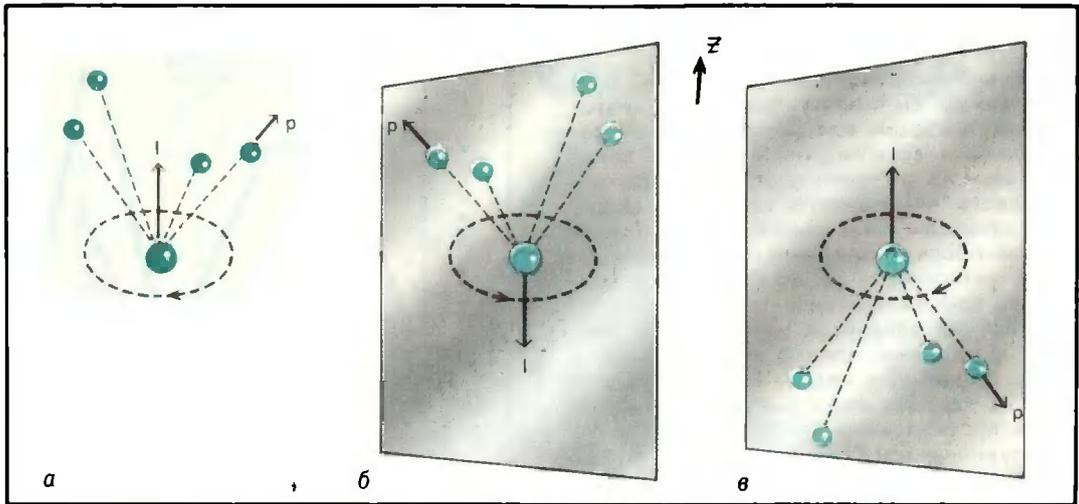
Мало кто сомневался в универсальности такого фундаментального принципа, как зеркальная симметрия, до тех пор, пока не возникла так называемая θ - τ -проблема. В середине 50-х годов были обнаружены два мезона, обозначенные θ и τ , которые при одинаковых массах, зарядах, временах жизни и т. п. распадались так, словно они отличаются своей пространственной четностью, т. е. обладают различными свойствами относительно операции инверсии координат.

Такая ситуация представлялась весьма странной. Анализируя ее, американские физики Т. Ли и Ч. Янг (впоследствии удостоенные Нобелевской премии) пришли к выводу, что на самом деле θ - и τ -мезоны представляют собой одну

¹ Распады обусловленные слабым взаимодействием, происходят за время, на много порядков меньшее, чем характерное «ядерное» время 10^{-22} с.

и ту же частицу, распадающуюся с нарушением четности. Они же предложили и ряд контрольных экспериментов для проверки своей гипотезы. В одном из них необходимо было сравнить число частиц, вылетающих по направлению спина распадающегося объекта, с числом частиц, испущенных в противоположном направлении. Эти два процесса при инверсии координат переходят друг в друга², поэтому, если имеет место зеркальная симметрия, то вероятности таких процессов, а следовательно и число вылетевших час-

тиц, должны быть одинаковыми. Такой эксперимент вскоре был поставлен Ц. Ву с сотрудниками (США). Измерялась асимметрия испускания β -частиц относительно ориентации спинов распадающихся радиоактивных ядер ^{60}Co . Результаты эксперимента блестяще подтвердили гипотезу Ли и Янга. Действительно, β -частицы вылетали преимущественно против спина ядер, что означало нарушение принципа зеркальной симметрии. Аналогичные результаты были получены и при исследовании других распадов. Сомнений не оста-



Процесс испускания частиц ядром (а) и его изображения в обычном зеркале (б), которое инвертирует только одну координату, и в «зеркале», которое меняет направления всех трех координатных осей (в). Поскольку спин ядра I коллинеарен магнитному моменту, создаваемому током электрических зарядов (показан пунктиром), то, если частицы при делении ядра испускаются в направлении его спина, в зеркале б этот процесс будет выглядеть так, как будто частицы с импульсом p вылетают против спина ядра. При этом направление вылета частиц останется тем же, а ориентация спина изменится на противоположную. Это произойдет по той причине, что обычное зеркало инвертирует лишь одну координату $[z]$. Чтобы получить картину при инверсии всех трех координатных осей, очевидно, необходимо повернуть изображение в зеркале б на 180° вокруг оси z . Спин ядра своего знака не изменит, а импульс частиц будет направлен в противоположную сторону.

валось — в слабых взаимодействиях четность не сохраняется.

УНИВЕРСАЛЬНОЕ СЛАБОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

Возникшая Θ — T -проблема и ее успешное разрешение стимулировали дальнейшее развитие теории. Имеющиеся к тому времени экспериментальные данные с определенностью указывали, что, скорее всего, все медленные распады являются следствием единого универсального слабого взаимодействия. Сильным аргументом в пользу такой гипотезы оказалась обнаруженная в экспериментах несохранение четности, что и объединяло все эти распады в один уникальный класс взаимодействий. Из предположения, что слабое взаимодействие универсально, следовало, что оно должно проявляться не только в распадах частиц, но и при рассеянии сильновзаимодействующих частиц — адронов — друг на друге. Если это так, то в ядрах, наряду с сильным вза-

² Спин квантовомеханической системы является аксиальным вектором, не меняющим знака при инверсии координат, тогда как импульс — полярный вектор — изменяет свой знак. Следовательно, если импульс частицы был направлен по спину, то при инверсии координат он оказывается направленным против спина.

имодействием нуклонов, должно существовать слабое взаимодействие, нарушающее четность. Относительная величина его очень мала ($10^{-5}\%$), и, тем не менее, оно может быть обнаружено именно благодаря эффектам несохранения четности. Одним из таких эффектов является асимметрия углового распределения излучаемых ядрами частиц относительно направления поляризации ядер — преимущественной ориентации их спинов.

В простейшем случае вероятность излучения частицы ядром описывается формулой:

$$W(\theta) = b(1 + a \cos \theta),$$

где b — нормировочный множитель, θ — угол между импульсом частицы и вектором поляризации ядер. Что касается коэффициента асимметрии a , то его величина зависит от квантовых характеристик начального и конечного состояний системы и природы излучаемых частиц. Кроме того он пропорционален степени несохранения четности, т. е. величине примеси слабого взаимодействия.

Поиски эффектов несохранения четности в ядерных процессах были начаты уже в конце 50-х годов, однако обнаружить их удалось лишь в 1964 г. в эксперименте, поставленном Ю. Г. Абовым с сотрудниками в Институте теоретической и экспериментальной физики (ИТЭФ, Москва). Ими исследовалась асимметрия излучения γ -квантов поляризованными ядрами ^{114}Cd , которые образуются в процессе захвата поляризованных тепловых нейтронов ядрами ^{113}Cd . Коэффициент асимметрии оказался равным

$$a = \frac{W(0^\circ) - W(180^\circ)}{W(0^\circ) + W(180^\circ)} = (-3,7 \pm 0,9) \cdot 10^{-4}.$$

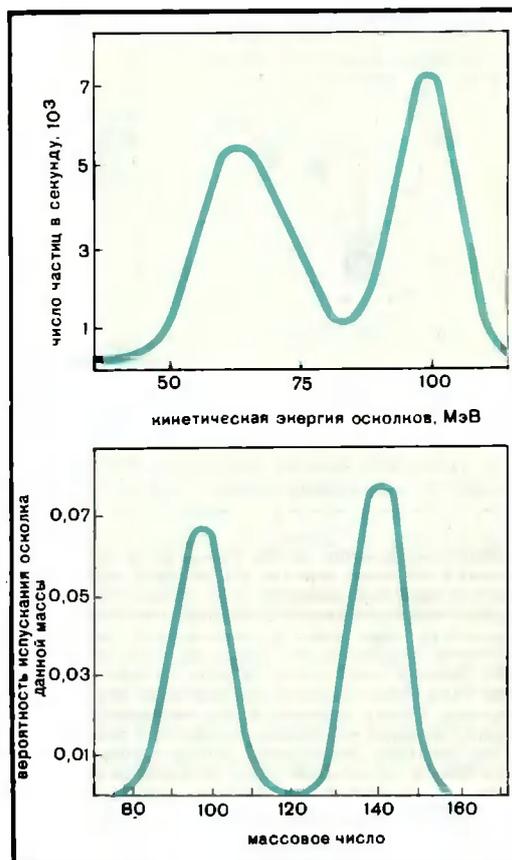
Отрицательный знак этого коэффициента означает, что γ -кванты излучаются преимущественно в направлении, противоположном ориентации спинов ядер ^{114}Cd . Таким образом, эксперимент вновь подтвердил теорию. Ядерные силы действительно содержат компоненту, не сохраняющую пространственную четность.

НЕСОХРАНЕНИЕ ЧЕТНОСТИ И ДЕЛЕНИЕ ЯДЕР

Аналогичные эффекты, очевидно, должны иметь место и в других ядерных процессах. Так, например, в 1974 г. увеличился успех многолетние поиски α -распада ядер ^{18}O , который запрещен правилами

ми отбора по четности. В Ленинградском институте ядерной физики им. Б. П. Константинова ведутся исследования асимметрии испускания α -частиц в реакциях $p + {}^6\text{Li} \rightarrow {}^3\text{H} + \alpha$ и $p + {}^{10}\text{B} \rightarrow {}^7\text{Li} + \alpha$, вызванных поляризованными тепловыми нейтронами.

Еще в 1961 г. В. В. Владимирский и В. Н. Андреев³ (ИТЭФ) предложили экспериментально исследовать асимметрию вылета легких или тяжелых осколков при спонтанном делении поляризованных ядер. Многим, вероятно, такое предложение показалось по крайней мере стран-



Распределение осколков деления ядер ^{235}U по массам (a и z) и кинетическим энергиям (b и e x y).

ным. Действительно, в разных актах деления образуются совершенно разные «частицы»: легкие осколки и, соответственно, различные «дочерние ядра» — тя-

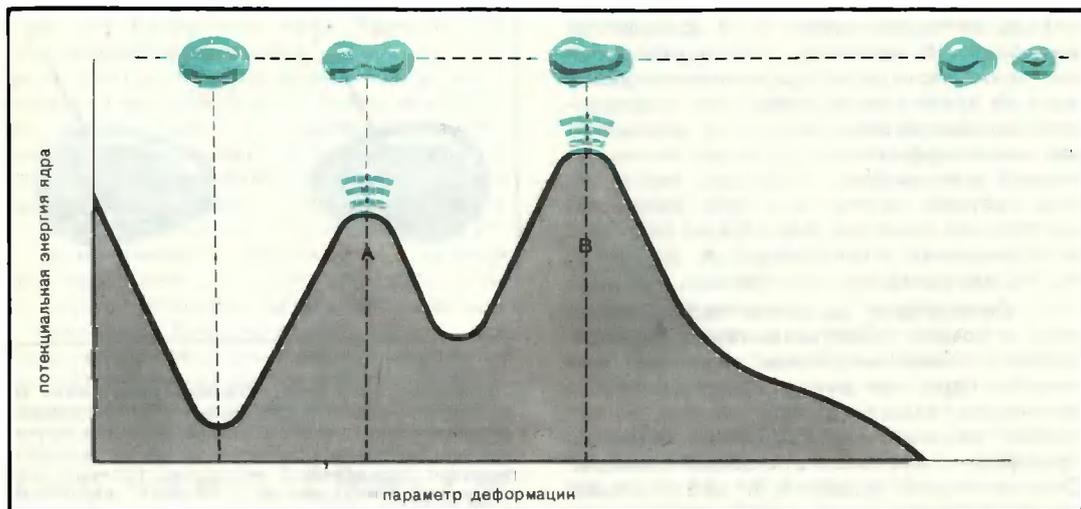
³ Владимирский В. В., Андреев В. Н. ЖЭТФ, 1961, т. 41, с. 663.

желые осколки. Многообразие конечных состояний в процессе деления столь велико, что выделить из них какое-либо определенное практически невозможно. Казалось бы, такой эксперимент заранее обречен на неудачу, поскольку результирующее значение коэффициента асимметрии испускания легких осколков при усреднении по множеству конечных состояний должно оказаться неотличимым от нуля.

На самом же деле, эти соображения, базирующиеся на аналогии процесса де-

ных конечных состояний, угловое распределение осколков деления выстроенных⁴ ядер анизотропно. Этот факт нашел естественное объяснение в так называемой канальной теории деления⁵.

В этой теории предполагается, что при критической деформации ядра, после которой оно неизбежно «разваливается» на два осколка, существуют различные переходные состояния (каналы деления). Каждый канал характеризуется тремя квантовыми числами: полным угловым моментом l , его проекцией на ось дефор-



Потенциальная энергия ядра как функция параметра, характеризующего его деформацию в процессе деления. Чтобы ядру разделиться, оно должно преодолеть два энергетических барьера (А и В). При деформациях, соответствующих максимумам кривой, имеются квазистационарные переходные состояния — каналы деления (изображены цветными линиями). Во втором минимуме возможно образование изомера формы — состояния, в котором ядро может находиться достаточно долго, прежде чем, благодаря туннельному переходу через барьер В, оно разделится на два осколка. (Вверху схематически показана эволюция формы ядра в процессе деления.)

ления с процессом испускания частицы ядром, не совсем верны. Специфика деления заключается, в частности, в том, что два осколка — легкий и тяжелый — всегда разлетаются по линии, совпадающей или почти совпадающей с осью, вдоль которой деформировано (вытянуто) ядро. Поэтому угловое распределение осколков, по существу, отражает пространственное распределение осей симметрии делящихся ядер. Экспериментально установлено, что, несмотря на огромное число возмож-

ности ядра K и четностью состояния π . При энергиях возбуждения ядер, не намного превышающих барьер деления, число доступных каналов невелико, и поэтому статистического усреднения коэффициентов анизотропии не происходит. Однако, согласно канальной теории деления, переходные состояния ядер обладают зеркально-симметричной формой, а наблюдаемое на эксперименте асимметричное распределение осколков по массам формируется лишь на последней стадии процесса деления. Если это так, то анизотропия углового распределения осколков деления выстроенных ядер вовсе не означает, что должна наблюдаться

⁴ Выстроенные ядра, в отличие от поляризованных, характеризуются равновероятной ориентацией спинов ядер в положительном и отрицательном направлениях оси ориентации.

⁵ Бор О. Теория деления ядер. — В сб.: Материалы Международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Женева, 1955. М., 1958, т. 2, с. 175.

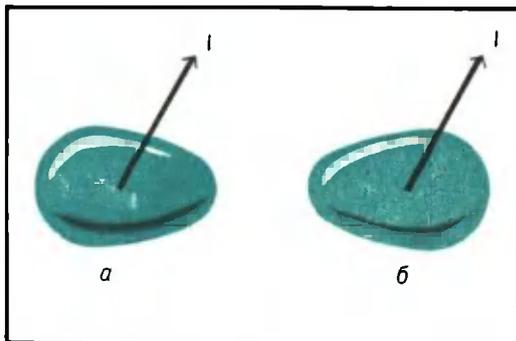
и асимметрия испускания легких осколков относительно направления поляризации делящихся ядер.

Действительно, угловое распределение осколков деления выстроенных ядер описывается четной функцией, т. е. функцией, которая не меняется при замене угла вылета θ на $-\theta$. Следовательно, оно одинаково как для легких, так и для тяжелых осколков. Что касается углового распределения осколков деления поляризованных ядер, то, если учитывать слабое взаимодействие нуклонов, оно описывается нечетной функцией угла вылета и поэтому должно быть различным для легких и тяжелых осколков. В результате возможна, в принципе, ситуация, когда квантовые характеристики конечного состояния не влияют на коэффициент пространственно-четной анизотропии, но определяют знак коэффициента пространственно-нечетной асимметрии. Очевидно, что в таком случае усреднение по конечным состояниям никак не скажется на величине коэффициента анизотропии, в то время как асимметрия не «выживет».

Дальнейшее развитие теории привело к новым представлениям о барьере деления. Оказалось, что потенциальная энергия ядра, как функция параметра деформации, имеет два максимума, т. е., чтобы разделиться, ядру необходимо преодолеть два энергетических барьера. Соответственно имеются и две системы переходных состояний. Теоретические расчеты показали, что для переходных состояний, соответствующих большему деформации ядра, энергетически более выгодна зеркально-асимметричная (грушевидная) форма ядра. В свою очередь, это означает, что не только угловое распределение осколков, но и их распределение по массам формируется в переходных состояниях, предшествующих разделению ядра на два осколка. Это обстоятельство очень существенно для рассматриваемой нами проблемы — асимметрии испускания осколков. Дело в том, что ядру с зеркально-асимметричной формой нельзя приписать определенную четность. Поэтому такие переходные состояния должны представлять собой комбинацию двух грушевидных конфигураций с противоположной ориентацией «груш». Если ядро обладает определенной четностью, то в переходном состоянии вероятность заселения этих двух подсостояний одинакова. Однако при нарушении закона сохранения четности, когда переходное состояние представляет собой смесь со-

стояний с противоположной четностью, нарушается также равновероятность заселения подсостояний, вследствие чего легкие осколки преимущественно будут испускаться либо по спину ядра, либо в противоположном направлении.

Таким образом, если для состояний, непосредственно предшествующих развалу ядра на легкий и тяжелый осколок, характерна зеркально-асимметричная форма, то нарушение принципа зеркальной симметрии универсальным слабым взаимодействием нуклонов в ядре может при-



Зеркально-асимметричная (грушевидная) форма ядра, энергетически наиболее выгодная для переходных состояний, которые соответствуют большим деформациям. Ядро такой формы не может быть охарактеризовано определенной четностью. Поэтому, если в ядерных взаимодействиях четность сохраняется, ядро грушевидной формы должно половину времени жизни находиться в состоянии а, половину времени жизни — в состоянии б. Когда четность за счет слабого взаимодействия между нуклонами ядра нарушается, состояния а и б перестают быть равновероятными, т. е. одно из них оказывается более заселенным, чем другое. Это приводит к асимметрии в угловом распределении легких и, соответственно, тяжелых осколков относительно ориентации спина ядра. При таком квазиклассическом рассмотрении ориентация грушевидного ядра в переходном состоянии, предшествующем делению, полностью определяет направление движения легкого осколка.

вести к асимметрии испускания легких и, соответственно, тяжелых осколков относительно направления поляризации ядер, не исчезающей при усреднении по множеству конечных состояний.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Для того чтобы проверить эту гипотезу на опыте, необходимо «приготовить» поляризованное состояние делящихся ядер. В случае деления ядер ^{234}U , ^{236}U и ^{240}Pu , образованных в результате захвата тепловых нейтронов, соответственно, ядрами ^{233}U , ^{235}U и ^{239}Pu , это можно сделать

двумя способами: либо поляризовать ядра мишени, либо — бомбардирующие их тепловые нейтроны. Последний способ методически проще.

Пучок тепловых нейтронов, выведенный из реактора, отражается от намагниченного кобальтового зеркала. Благодаря когерентному взаимодействию дебройлевской волны нейтрона с атомами решетки кобальта⁶, полное внутреннее отражение испытывают лишь нейтроны, спины которых параллельны вектору намагниченности кобальта. В результате отраженный пучок нейтронов оказывается поляризованным в направлении приложенного к зеркалу магнитного поля. Критический угол полного внутреннего отражения тепловых нейтронов составляет всего лишь несколько угловых минут. Чтобы отделить отраженный пучок от падающего, необходимо сформировать его в виде узкой полоски. Удобнее работать с пучком, поляризация которого перпендикулярна «плоскости» полоски. На пути такого пучка устанавливается откачиваемая камера деления с тонкими входным и выходным окнами из материала, слабо поглощающего нейтроны. Внутри камеры вдоль оси пучка нейтронов располагается мишень из делящегося вещества, а вне пучка — детектор осколков. Он регистрирует осколки деления (как легкие, так и тяжелые, образованные, конечно, в разных актах деления), вылетевшие из мишени в направлении поляризации пучка нейтронов. Амплитуда импульса, образующегося в детекторе, пропорциональна кинетической энергии осколка. Поскольку легкие и тяжелые осколки различаются по энергии в среднем в полтора раза (следствие закона сохранения энергии и импульса), амплитудный анализ импульсов с детектора позволяет идентифицировать осколки и разделить сосчитать число зарегистрированных в единицу времени легких и тяжелых осколков.

Если бы ожидаемая асимметрия была достаточно велика, то, в принципе, на этом процедуре измерений можно было бы и закончить. Однако это не так — теоретически предсказываемое значение асимметрии порядка 0,01%. С такой точностью невозможно идентифицировать осколки по амплитудам импульсов с детектора. Ста-

тистические флуктуации числа образованных в детекторе пар ионов приводят к тому, что в области, близкой к симметричному делению (т. е. делению на два осколка одинаковой массы), отличить легкий осколок от тяжелого практически невозможно. Следовательно, невозможно четко установить, какие осколки — легкие или тяжелые — преимущественно вылетают из мишени в направлении поляризации пучка нейтронов. Чтобы измерить столь малую асимметрию, необходимо сравнить число легких осколков, вылетевших из мишени в направлении поляризации пучка нейтронов, с числом легких осколков, вылетевших в противоположном направлении, при неизменных прочих условиях эксперимента.

Для этой цели можно было бы использовать два детектора, каждый из которых «контролировал» бы одно из интересующих нас направлений вылета осколков деления. Однако характеристики детекторов могут по-разному изменяться во время измерений, в результате чего появится ложная, или аппаратная, асимметрия, не связанная с исследуемым физическим явлением. Чтобы этого не произошло, регистрировать осколки нужно одним детектором, но измерения производить поочередно при двух противоположных поляризациях пучка нейтронов. Причем чередовать измерения необходимо с такой частотой, чтобы за время, прошедшее между двумя последовательными измерениями, условия эксперимента (т. е. характеристики детектора и электронной аппаратуры, интенсивность пучка нейтронов) не могли существенно измениться. Однако реверсирование поляризации пучка нейтронов также требует некоторого времени, в течение которого измерения необходимо приостанавливать. Поэтому, чтобы не было «непроизводительных» потерь времени, эту процедуру нельзя осуществлять сколь угодно часто. Оптимальной оказывается частота порядка 0,1—1 Гц.

Но и в этом случае нельзя исключить возможности появления ложной асимметрии, которую можно принять за истинную (а такие случаи нередко бывали). Чтобы быть гарантированными от такой ошибки, в описываемых ниже исследованиях⁷ пришлось существенно усложнить

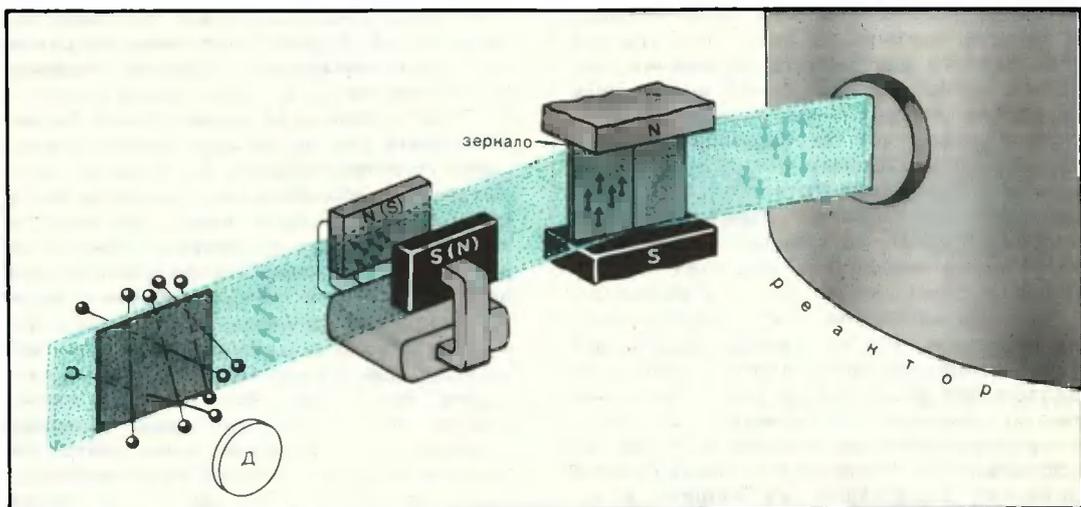
⁶ Длина волны теплового нейтрона больше, чем характерное межатомное расстояние, поэтому имеет место постоянство фазовых соотношений для волн, рассеянных от разных атомов, — возникает согласованный, коллективный эффект, подобный когерентному рассеянию света в оптике.

⁷ Данилян Г. В., Воденников Б. Д., Дроняев В. П., Новицкий В. В., Павлов В. С., Бороваев С. П. Ядерная физика, 1978, т. 27, с. 42.

постановку экспериментов. В частности, реверсирование поляризации пучка нейтронов производилось стохастически, благодаря чему медленные монотонные изменения характеристик аппаратуры не могли привести к заметной ложной асимметрии. Аналогичным образом, т. е. также стохастически, от одного цикла измерений к другому производилась перекоммутация электронных трактов счета числа легких или тяжелых осколков, связанных с определенными направлениями поляризации пучка нейтронов. Бла-

делении осколков деления, которая обусловлена корреляцией между направлением импульса испускаемого осколка и направлением поляризации ядра, не должно быть, поскольку захватываемые ядрами нейтроны не поляризованы. Если тем не менее некоторая асимметрия будет обнаружена, то ее необходимо учитывать в качестве аппаратурного «нуля» при вычислении искомого коэффициента асимметрии.

Мы уже говорили, что детектор регистрировал как легкие, так и тяжелые



Схематическое изображение экспериментальной установки для исследования несомнения четности при делении ядер. Пучок неполяризованных нейтронов, выведенный из реактора, падает под углом θ' на поверхность кобальтового зеркала, расположенного между полюсами магнита. После отражения пучок нейтронов оказывается поляризованным в направлении приложенного к зеркалу магнитного поля. Затем нейтроны проходят между полюсами электромагнита, в результате чего из спины адиабатически поворачиваются на 90° . Вдоль пучка устанавливается мишень из делящегося вещества; легкие и тяжелые осколки, вылетавшие из мишени в направлении поляризации пучка нейтронов, регистрируются детектором (Д). Оказывается, что при делении ^{233}U и ^{235}U в этом направлении испускаются преимущественно легкие осколки, а при делении ^{239}Pu — тяжелые.

годаря этому происходило «усреднение» возможного отличия в эффективности и надежности регистрации осколков при двух противоположных ориентациях вектора поляризации пучка нейтронов. Кроме того, измерения на поляризованном пучке нейтронов чередовались с измерениями на неполяризованном пучке нейтронов. В последнем случае асимметрии в распре-

осколки, и, следовательно, в независимых измерениях определялись коэффициенты асимметрии для легких и для тяжелых осколков. Это очень важно при контроле достоверности результатов измерений. Действительно, поскольку в силу закона сохранения импульса легкий и тяжелый осколки разлетаются в противоположных направлениях, очевидно, что коэффициенты асимметрии для них должны быть равны друг другу по модулю, но противоположны по знаку. С другой стороны, трудно представить себе какой-либо аппаратурный эффект асимметрии, который имел бы разные знаки для легких и тяжелых осколков. Следовательно, если и есть аппаратурная асимметрия, то она должна «сократиться» при усреднении измеренных значений коэффициентов асимметрии для легких и тяжелых осколков.

Анализ всех перечисленных факторов при постановке экспериментов позволял надеяться, что результаты исследований будут достаточно надежными. Единствен-

ное, в чем следовало бы убедиться до того, как приступать к измерениям,— это в чувствительности экспериментальной установки к столь малой величине асимметрии счета, как 0,01%. Полностью симитировать физическую асимметрию, т. е. асимметрию противоположного знака для легких и тяжелых осколков, не удалось. Однако создать асимметрию порядка 10^{-4} одного и того же знака для легких и тяжелых осколков несложно. Для этого нужно синхронно с реверсированием поляризации модулировать его интенсивность, причем таким образом, чтобы интенсивности падающих на мишень пучков нейтронов разных поляризаций отличались на 0,01%. С этой целью на пути пучка нейтронов устанавливалась рамка с медной фольгой, соединенная механически с якорем миниатюрного электромагнитного реле. При пропускании тока через его обмотку, рамка поворачивалась вокруг своей оси на угол 18° , в результате чего изменялась толщина слоя меди на пути нейтронов. После выключения тока пружина возвращала рамку в исходное положение. Пропуская ток через обмотку лишь при определенном направлении поляризации пучка, мы модулировали интенсивность падающего на мишень пучка нейтронов, а, следовательно, и число делений ядер мишени за одну секунду. Расчетная величина асимметрии счета осколков (легких и, соответственно, тяжелых) составляла $-1,9 \cdot 10^{-4}$. Измерения дали значение $(-1,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-4}$, что находится в хорошем согласии с расчетами.

Первый эксперимент с мишенью из ^{235}U являлся, по существу, поисковым и потребовал круглосуточных измерений в течение четырех месяцев. В результате было получено следующее усредненное значение коэффициента асимметрии:

$$a(^{236}\text{U}) = (0,77 \pm 0,19) \cdot 10^{-4}.$$

Это означает, что с достоверностью 99% коэффициент асимметрии испускания легких осколков при делении ^{235}U поляризованными тепловыми нейтронами заключен в пределах $0,28 \cdot 10^{-4} \leq a(^{236}\text{U}) \leq 1,26 \cdot 10^{-4}$, т. е. отличен от нуля. Положительный знак этого коэффициента указывает на то, что легкие осколки испускаются преимущественно в направлении поляризации пучка нейтронов, индуцировавших акты деления.

Во втором эксперименте в качестве мишени использовались ядра ^{239}Pu . Трех-

недельные круглосуточные измерения дали результат

$$a(^{240}\text{Pu}) = (-5,0 \pm 0,4) \cdot 10^{-4},$$

из чего следует, что с достоверностью 99% коэффициент асимметрии в этом случае заключен в пределах $-6 \cdot 10^{-4} \leq a(^{240}\text{Pu}) \leq -4 \cdot 10^{-4}$. Замечательно, что при делении ядер ^{240}Pu коэффициент асимметрии оказался отрицательным, т. е. легкие осколки испускались преимущественно в направлении, противоположном ориентации спинов нейтронов, вызывающих деление.

Следует отметить, что в методическом плане регистрация осколков деления ядер ^{240}Pu ничем не отличается от регистрации осколков деления ^{236}U , и, следовательно, при смене мишени аппаратная асимметрия не должна была изменить знак. Это является дополнительным аргументом в пользу достоверности результатов измерений.

Наконец, в третьем эксперименте мишенью являлись ядра ^{233}U . Усредненный результат измерений оказался равным

$$a(^{234}\text{U}) = (3,0 \pm 0,1) \cdot 10^{-4}.$$

Совокупность полученных данных позволила авторам описанного цикла работ сделать вывод, что ими обнаружено новое явление — асимметричное испускание легких и, соответственно, тяжелых осколков при делении ядер ^{234}U , ^{236}U и ^{240}Pu . В дальнейшем это было подтверждено экспериментами, выполненными другими группами.

Существенно отличающийся в методическом плане эксперимент был поставлен В. Н. Андреевым с сотрудниками (ИТЭФ)⁸. Они воспользовались известным экспериментальным фактом, что вторичные нейтроны деления испускаются преимущественно в направлении движения легких осколков. Следовательно, если при делении ядер ^{233}U , ^{235}U и ^{239}Pu поляризованными тепловыми нейтронами легкие осколки испускаются асимметрично относительно направления поляризации пучка нейтронов, то и в распределении нейтронов деления должна наблюдаться асимметрия по отношению к этому направлению. При этом существенно, что детектором регистрируется нейтральная час-

⁸ Андреев В. Н., Данилов М. М., Ермаков О. Н., Недопекин В. Г., Рогов В. И. Ядерная физика, 1979, т. 30, с. 306.

тица, практически нечувствительная к воздействию внешних и внутренних электрических и магнитных полей (например, внутрикристаллических полей мишени или детектора). Следовательно, если даже при регистрации заряженных осколков и остались какие-либо неучтенные эффекты, обусловленные методикой эксперимента, вызывающие аппаратную асимметрию, в принципе, они здесь не могут проявиться. В результате цикла основных и калибровочных экспериментов полностью подтвердилось существование обнаруженного явления. После этого почвы для сомнений не осталось: в процессе деления ядер четность не сохраняется. А проявляется это так: при делении одних ядер легкие осколки испускаются преимущественно по спину делящихся ядер, при делении других ядер — в противоположном направлении.

ЧТО ЖЕ ЭТО МОЖЕТ ОЗНАЧАТЬ?

Тот факт, что четность в процессе деления не сохраняется, не представляет собой ничего удивительного. Мы уже обсуждали, почему это происходит. Удивительно другое — коэффициенты асимметрии испускания осколков при делении ядер ^{233}U , ^{235}U и ^{239}Pu поляризованными нейтронами оказались по порядку величины такими же, как и коэффициенты асимметрии излучения γ -квантов поляризованными ядрами ^{114}Cd и ^{118}Sn . Однако постановка экспериментов в этих двух случаях существенно отличалась. При исследовании асимметрии излучения γ -квантов детектор регистрировал лишь γ -кванты определенной энергии, сопровождающие переход ядра в одно определенное конечное состояние, в то время как в экспериментах по делению ядер, по существу, производилось усреднение коэффициента асимметрии по очень большому числу конечных состояний, т. е. детектор регистрировал все без исключения легкие осколки. Такое же усреднение в опытах по изучению вылета γ -квантов дало бы для результирующего коэффициента асимметрии значение примерно в \sqrt{N} раз меньшее (здесь N — число конечных состояний, по которым производится усреднение). Следовательно, если проводить аналогию между процессами излучения γ -квантов поляризованными ядрами и деления ядра, то можно прийти к выводу, что во втором случае ($N \approx 10^8$) пространственная четность не сохраняется в той же мере, что и в процессах, обусловленных слабыми взаимодействиями, т. е.

на все 100%. Однако, хотя полностью такое объяснение нельзя исключить, оно представляется крайне маловероятным.

Строгой квантово-механической интерпретации обнаруженное явление еще не получило. При квазиклассическом же рассмотрении процесса деления, когда приходится оперировать такими понятиями, как форма ядра, необходимым (но, конечно, еще не достаточным) условием формирования наблюдаемой в эксперименте асимметрии испускания осколков деления является требование, чтобы в процессе деления ядро проходило через стадию, характеризующую зеркально-асимметричной (грушевидной) формой.

К сожалению, рассматриваемая модель не предсказывает каких-либо новых эффектов, существование которых можно было бы проверить в экспериментах, хотя она и не находится в противоречии с уже имеющимися экспериментальными данными. Основной ее недостаток, по-видимому, состоит в том, что она не учитывает динамику-процесса деления. Вероятнее всего, асимметричная деформация ядра в переходных состояниях обусловлена октупольными колебаниями формы ядра, и, следовательно, при описании процесса деления на микроскопическом уровне должны возникать определенные корреляции между относительными фазами различных мод колебаний поверхности ядра и направлением ориентации спина ядра.

Можно надеяться, что дальнейшие экспериментальные и теоретические исследования нового явления помогут нам лучше понять как роль слабого взаимодействия в ядре, так и механизм деления ядер — сложнейшего процесса, представляющего не только теоретический, но и весьма важный практический интерес.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Варденга Г. Л., Оконов Э. О. СЛАБЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОКРУШАЮТ СИММЕТРИИ.— Природа, 1970, № 9.

Струтинский В. М. ДЕЛЕНИЕ ЯДЕР.— Природа, 1976, № 9.

Шапиро И. С. ЯДЕРНЫЕ СИЛЫ, НЕ СОХРАНЯЮЩИЕ ЧЕТНОСТЬ.— Успехи физических наук, 1968, т. 95.

Абов Ю. Г., Крупницкий П. А. НАРУШЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЧЕТНОСТИ В ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ.— Успехи физических наук, 1976, т. 118.

Данилян Г. В. НЕСОХРАНЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЧЕТНОСТИ В ДЕЛЕНИИ.— Успехи физических наук, 1980, т. 131.

Астрофизика

Солнечные вспышки и радиоизлучение гелия

Наблюдения с помощью космических аппаратов привели к открытию в 60-х годах своеобразного класса солнечных вспышек, сопровождающихся испусканием необычно большого количества ядер изотопа ^3He . Как выяснилось, их изучение может дать дополнительную информацию об особенностях вспышек и о солнечной активности в целом. Возможно также, новые данные будут полезны для прогнозирования вспышек и диагностики процессов, протекающих после вспышек.

Сейчас радионаблюдения Солнца ведутся в широком диапазоне длин волн (от ~ 1 мм до ~ 1 км). Спектр излучения спокойного Солнца имеет вид плавной кривой, причем плотность потока (интенсивность) радиоволн медленно уменьшается с уменьшением длины волны. На этом спокойном фоне часто появляются разного рода флуктуации и всплески интенсивности. Например, для диагностики вспышек успешно используются данные о радиовсплесках с длиной волны 10,7 см и 3 см. Исследователей интересует в основном отношение интенсивностей этих радиовсплесков, а требования к точности измерений, временному и пространственному разрешению радиотелескопов не очень строги. Излучение всплесков имеет нетепловую природу: оно создается быстрыми электронами при их торможении в магнитных полях солнечной атмосферы. Это позволяет судить о величине и структуре магнитных полей в области вспышки.

Как показали расчеты Н. Н. Булатова¹ (Тамбовский пе-

дагогический институт), ион $^3\text{He}^+$ при некоторых условиях может излучать радиоволны длиной 3,46 см. В том же диапазоне длин волн (21 см) существует излучение нейтрального водорода, однако его радиоизлучение гораздо сильнее поглощается солнечной атмосферой, чем радиоизлучение ^3He .

В противоположность магнитотормозному излучению электронов радиоизлучение ^3He возникает в результате перехода иона $^3\text{He}^+$ из возбужденного в нормальное состояние. Поэтому наблюдения на волне 3,46 см могли бы дать информацию не о магнитных полях, а о температуре вещества в области вспышки и содержании ^3He на Солнце. Булатов выполнил расчеты интенсивности радиоизлучения ^3He , предположив, что в активной области содержится одинаковое количество атомов ^3He и ^4He , в соответствии с наблюдениями (в невозмущенной солнечной атмосфере отношение $^3\text{He}/^4\text{He} \sim 3 \cdot 10^{-4}$). Оказалось, что так называемая яркостная температура радиоизлучения ^3He , характеризующая его интенсивность, должна быть около 10 К. (На современных радиотелескопах типа РАТАН можно наблюдать радиоизлучение с яркостной температурой до ~ 1 К). Наблюдения радиоизлучения ^3He требуют, однако, высокого пространственного и временного разрешения, чтобы на фоне флуктуаций и всплесков можно было выделить его от магнитотормозного радиоизлучения электронов. Такие наблюдения позволяют оценить содержание ^3He не в межпланетном пространстве (как это делается до сих пор), а непосредственно в активных областях Солнца.

Таким образом, обнаружение вспышек, богатых ^3He , поставило перед гелиофизиками фундаментальный вопрос: носит ли обогащение ^3He локальный характер, т. е. происходит лишь в отдельных областях над по-

верхностью Солнца (тогда какой механизм такого обогащения — ядерный, плазменный и т. п.), или же оно связано с внутрисолнечными процессами? Решить этот вопрос можно только путем комплексных наблюдений вспышек с помощью космических аппаратов (в различных интервалах энергий ионов ^3He и других частиц) и наземных приборов в оптическом и радиодиапазонах.

Л. И. Мирошниченко,
кандидат физико-математических наук
Московская область

Метеоритика

Структура Лабныкыр — еще одна астроблема

Кольцевая структура Лабныкыр диаметром 65 км расположена в Южной Якутии, чуть западнее истока Индигирки. Она очерчена дугообразными долинами рек Куйдусун на западе и Лабныкыр на востоке. Почти в центре структуры находится второе кольцо диаметром 15 км, образованное реками Маннык-Юрх и Холь. На расстоянии до 120 км от центра структуры прослеживаются концентрические системы кольцевых разломов. На космических снимках Лабныкыр напоминает астроблему¹ Маникуган (Канада), кольцевая форма которой также подчеркивается реками.

Исследования, проведенные на Лабныкыре Л. П. Хряниной, В. Б. Агентовной и Г. Ю. Гаген-Торном (Институт геохимии

¹ Астроблема (от греч. «звездная рана») — кольцевая структура на Земле, образовавшаяся в результате удара и взрыва метеорита.

¹ Булатов Н. Н. Астроном. журн., 1980, т. 57, № 1, с. 211.

и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР и Научно-производственное объединение «Аэрогеология»), показали, что в отложениях пермского, триасового, нижне- и среднеюрского периодов не имеется следов кольцевой структуры. А вот распределение вулканических пород мелового возраста связано с кольцевыми разломами. По-видимому, обрезание кратера и системы разломов облегчило выход магмы из недр на поверхность.

На метеоритное происхождение Лабинкырской структуры указывают системы параллельных трещин в зернах кварца, возникшие в результате ударных нагрузок при давлении более 70 кбар, характерные разрушения конической формы, наличие раздробленных пород. Все эти признаки ударного воздействия были обнаружены в центральной части структуры, где породы имеют доверхнеюрский возраст. Резкие формы рельефа: острые водораздельные гребни, каньонообразные долины указывают на то, что концентрические долины рек представляют собой участки, претерпевшие тектоническое опускание в новейшее геологическое время.

Таким образом, можно считать, что кольцевая структура Лабинкыр образовалась в конце юрского периода в результате метеоритного удара. Кольцевая система разломов, окружающих эту структуру, была тектонически активна длительное время, начиная с мелового периода. Определить первоначальный размер и точное расположение элементов кратера Лабинкыр трудно, поскольку его внутренняя часть перекрыта слоем лав толщиной более 1 км.

Экспресс-информация ВНИИ экономики минерального сырья и геологоразведочных работ Министерства геологии СССР, 1980, вып. 3,

Планетология

Имя академика А. П. Виноградова — на картах Луны и Марса

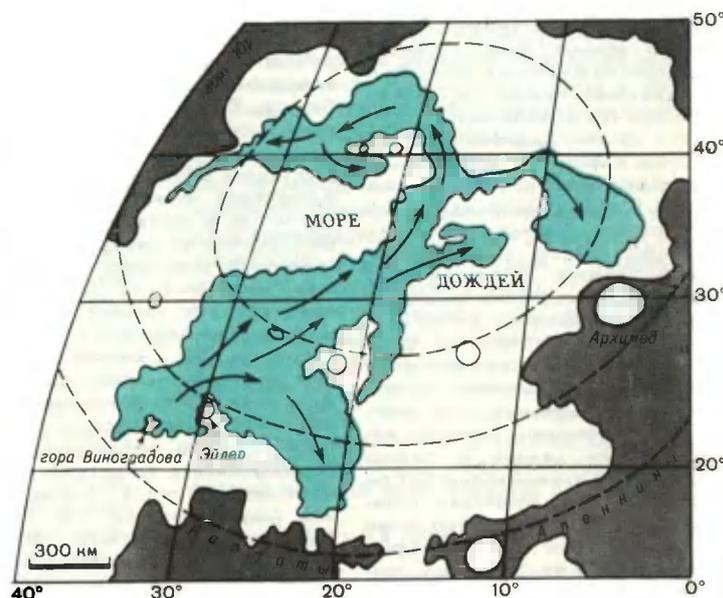
Академик Александр Павлович Виноградов (1895—



Фотография кратера Виноградова (в центре снимка), сделанная с борта искусственного спутника «Марс-5».

проведено изучение образцов, доставленных на Землю станциями «Луна-16» и «Луна-20», впервые измерена естественная радиоактивность пород марсианской поверхности (с помощью искусственного спутника «Марс-5»), выполнены первые прямые определения состава атмосферы Венеры. С 1969 по 1975 г. А. П. Виноградов был председателем Комиссии АН СССР по наименованиям деталей рельефа на планетах, принимая активное участие в работах по обозначению образований на небесных телах.

По предложению советских планетологов Международный астрономический союз в знак признания заслуг А. П. Виноградова присвоил его имя горному массиву на Луне и кратеру на Марсе¹. Гора Виногра-



1975) известен как работами в области наук о Земле, так и исследованиями Луны и планет; на протяжении ряда лет он возглавлял планетологические работы в нашей стране и непосредственно занимался разработкой и проведением космических экспериментов. Под его руководством впервые был определен состав лунных пород с помощью гамма-спектроскопических измерений с искусственного спутника «Луна-10»,

Крупные базальтовые потоки (показаны цветом), протянувшиеся поперек впадины Моря Дождей на Луне, начинаются из района горы Виноградова. Стрелки — направление растекания потоков, прерывистые линии — структурные кольца Моря Дождей.

¹ Transactions of the International Astronomical Union. 1980, v. XVII B, p. 307—353.

дова (раньше она имела обозначение Эйлер β) расположена в юго-западной части лунного Моря Дождей (22° с. ш., 32° з. д.). Из разлома, протянувшегося от горы Виноградова до кратера Эйлер, берут начало крупные, тысячекиллометровые базальтовые потоки, пересекающие почти всю равнину Моря Дождей.

На Марсе координаты кратера Виноградова — 20° ю. ш., 38° з. д.; он расположен к югу от системы гигантских каньонов, в области, носящей название Жемчужная земля. Этот крупный кратер (его диаметр 200 км) был обнаружен по снимкам, полученным со станции «Марс-5» в 1974 г.

К. П. Флоренский,
кандидат геолого-минералогических наук
Г. А. Бурба
Москва

Физика

Сплавы «запоминают» механические напряжения

К существующим видам памяти магнитной, электростатической, памяти формы¹ и т. д. добавился еще один вид — память вещества о механических напряжениях, ударах. Она обнаружена В. Ф. Новиковым и Е. В. Долгих (кафедра физики факультета технической кибернетики Тюменского индустриального института) в сплавах железа с редкоземельными металлами типа TbFe₂ и SmFe₂, обладающими огромной магнитоstriction при комнатной температуре (17 · 10⁻²%).

Образцы, изготовленные из этих соединений, не возвращаются к своей первоначальной форме после приложения механических напряжений или удара, т. е. имеет место остаточная

деформация. Однако это не пластическая деформация, которая наблюдается, например, у свинца или пластилина при сильном сжатии или растяжении. Остаточная деформация у сплавов железа с редкоземельными металлами легко снимается магнитным полем. Благодаря этому материал можно многократно использовать для запоминания величины ранее приложенных механических напряжений.

Остаточная деформация настолько велика, что сравнима с упругой деформацией материала (5 · 10⁻²%) и может быть легко измерена с помощью тензометрического метода. Ячейка памяти или датчик для измерения механических напряжений представляет собой цилиндр (или параллелепипед) размерами в несколько миллиметров, приготовленный из TbFe₂ или SmFe₂, с наклеенным на нем миниатюрным тензодатчиком. Особенность ячейки такова, что она запоминает максимальную величину ранее приложенного, а затем снятого усилия или силу удара. Стирание памяти производится поднесением к датчику магнита или импульсом магнитного поля.

Физика металлов и металловедения, 1980, т. 49, вып. 2, с. 292—295.

Физика

Обратный эффект Фарадея и счет одиночных фотонов

Наряду с хорошо известным прямым эффектом Фарадея — вращением плоскости поляризации света при его распространении в среде в присутствии магнитного поля, существует так называемый обратный эффект Фарадея. Суть его состоит в появлении намагниченности оптической среды при прохождении сквозь нее световой волны с круговой поляризацией.

Как показали В. Б. Брагинский и Ф. Я. Халили (физический факультет МГУ), обратный эффект Фарадея приводит к двум новым, еще не наблюдавшимся

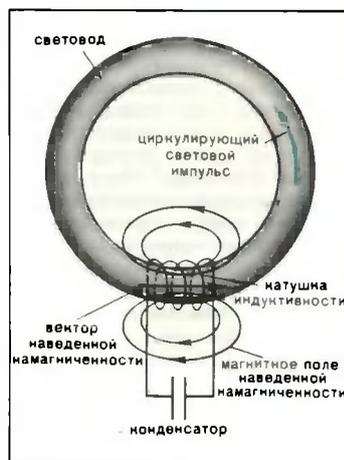


Схема эксперимента по счету отдельных оптических фотонов.

явлениям: оптикомагнитному переходному излучению и оптикомагнитному черенковскому излучению. Первый вид излучения должен наблюдаться, если световой импульс с круговой поляризацией проходит через границу раздела двух оптических сред с различными постоянными Верде¹.

В этом случае на границе раздела происходит деформация импульса намагниченности среды, бегущего вместе со световым импульсом. Деформация обусловлена возникновением вблизи границы, но по другую ее сторону, наведенного импульса намагниченности. В результате излучается импульс электромагнитных волн, длительность которого равна времени прохождения фронтом импульса границы раздела сред. В сантиметровом диапазоне для светового импульса с энергией 10³ эрг, длиной волны 0,5 мкм и при $V_B \sim 1 \cdot 10^{-4} \text{ Э}^{-1} \text{ см}^{-1}$ энергия такого излучения составляет $1,5 \cdot 10^{-14}$ эрг.

Черенковское излучение возникает, когда скорость светового импульса и наведенного им в среде магнитного момента больше фазовой скорости в

¹ Об этом см., напр.: Спицын В. И., Троицкий О. А. Электропластическая деформация металла. — Природа, 1977, № 7, с. 30.

¹ Постоянная Верде V_B характеризует магнитную активность вещества.

этой среде электромагнитных волн с другими частотами.

Брагинский и Халили предлагают использовать обратный эффект Фарадея для регистрации отдельных оптических фотонов путем счета квантов СВЧ-поля². По кольцевому световоду из слабопоглощающего свет магнитоактивного вещества циркулирует импульс лазерного излучения круговой поляризации; пространственная протяженность импульса меньше периметра световода. Часть кольца проходит внутри катушки индуктивности, входящей в колебательный СВЧ-контур. В силу обратного эффекта Фарадея световой импульс наводит в световоде бегущий импульс намагнитченности. Каждый раз, когда этот импульс проходит сквозь катушку, меняется величина проходящего сквозь нее магнитного потока и в катушке наводится ЭДС. Если длину световода подобрать так, чтобы период обращения светового импульса (т. е. период колебаний ЭДС) был равен периоду собственных колебаний поля в СВЧ-контуре, то получится СВЧ-резонатор. В таком резонаторе можно возбудить электромагнитное поле с энергией, достаточной для регистрации этого поля. (Современная техника позволяет фиксировать появление даже одного СВЧ-кванта.) При длине СВЧ-волны ~ 6 см, $\nu_B \sim 10^{-4}$ Э⁻¹ см⁻¹ и времени наблюдения ~ 100 мкс возникновению в СВЧ-резонаторе одного кванта поля соответствует наличие в световоде $\sim 4 \cdot 10^5$ квантов света с длиной волны 0,5 мкм. Если же световод выполнен из вещества, у которого $\nu_B \sim 1 \div 10$ Э⁻¹ см⁻¹, то регистрации одного СВЧ-кванта будет соответствовать уже один оптический фотон в световоде. Таким образом, вопрос практической реализации такого устройства сводится к получению оптически прозрачных веществ с большими постоянными Верде.

В настоящее время к требуемому уровню приближаются некоторые гранаты, например соединение TbAlG при 4,2 К имеет $\nu_B \sim 0,1$ Э⁻¹ см⁻¹.

Журнал экспериментальной и теоретической физики, 1980, т. 78, вып. 5, с. 1712.

Физика

Эффект Саньяка в волоконно-оптическом интерферометре

В Лаборатории колебаний Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР под руководством А. М. Прохорова создан кольцевой интерферометр, позволяющий измерять малые скорости вращения — до 0,3 град/с. Интерферометр сделан на основе волоконного стеклянного световода¹ с сердцевинной из (SiO₂ + GeO₂) диаметром 5,6 мкм и длиной 285 м, намотанного на катушку радиуса 25 см.

Принцип действия прибора основан на так называемом эффекте Саньяка, суть которого в следующем. Вдоль кольцевого световода навстречу друг другу бегут две одинаковые когерентные световые волны, полученные, например, расщеплением одного и того же лазерного луча на светоделительной пластинке. С помощью фотоприемника, жестко связанного со световодом, наблюдают интерференционную картину, возникающую при наложении этих волн. Если всю систему привести в медленное вращение относительно оси, проходящей через центр кольца световода перпендикулярно его плоскости, то интерференционные полосы начнут смещаться. Величина смещения пропорциональна угловой скорости вращения и разности путей, проходимых встречными волнами вдоль световода

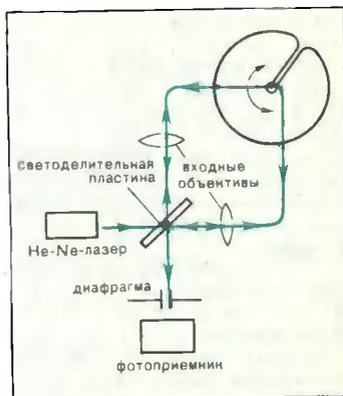


Схема волоконно-оптического интерферометра.

до места интерференции. Эффект обусловлен тем, что волна, распространяющаяся в направлении вращения интерферометра, проходит больший путь и создается избыток фазы. Встречная волна проходит меньший путь и ее фаза уменьшается. Возникающая в результате разности фаз этих волн изменяет условия пространственного расположения интерференционных максимумов и минимумов, приводя к смещению картины.

В разработанном интерферометре входной лазерный пучок с длиной волны 0,63 мкм расщепляется на два когерентных, которые ввелись в концы световода. За счет гибкости волоконка интерферометр мог поворачиваться в обе стороны на угол до 180 градусов. Сдвиг интерференционных полос фиксировался по относительному изменению интенсивности света в выбранном с помощью диафрагмы месте картины. Большая длина световода позволила уменьшить порог наблюдаемых угловых скоростей до 0,3 град/с. Согласно оценкам, максимальная чувствительность волоконного интерферометра составляет $\sim 10^{-7}$ град/с. Чтобы получить такую чувствительность, нужно существенно увеличить длину световода. Для компенсации возрастающих в этом случае потерь света внутри волокна световода необходимо использовать инфракрасное излучение, для которого эти потери малы.

Письма в ЖЭТФ, 1980, т. 32, вып. 3, с. 240—243.

² Ранее эти исследователи предложили способ счета квантов СВЧ-поля с помощью прямого эффекта Фарадея. См.: Природа, 1980, № 5, с. 112.

¹ Подробнее об этом см.: Полковников Б. Ф. Волоконные световоды с малыми потерями. — Природа, 1978, № 1, с. 116.

Разложение воды на радикалы под действием лазерного луча

Известно, что под воздействием рентгеновского излучения вода разлагается с образованием ряда свободных радикалов — OH, H, H₂, H₂O₂; одним из наиболее реакционноспособных продуктов радиоллиза воды является гидратированный электрон e_{aq}⁻, окруженный ориентированными молекулами воды. Радикалы, активно участвуя в химических реакциях, приводят к разрушению растворенных в воде молекул. До сих пор считалось, что вода прозрачна в видимом и ультрафиолетовом диапазонах спектра (т. е. излучение этого диапазона не поглощается), поэтому при фотоллизе водных растворов учитывалось лишь прямое воздействие светового излучения на растворенные в воде молекулы.

Недавно Д. Н. Никогосян и Д. А. Ангелов (Институт спектроскопии АН СССР) показали, что облучение воды лазерным ультрафиолетовым излучением высокой интенсивности (~10⁸—10¹⁰ Вт/см²) приводит к ионизации ее молекул за счет одновременного поглощения двух фотонов. В результате в воде образуется ряд сравнительно долгоживущих заряженных радикалов, в том числе экспериментально зарегистрированный авторами гидратированный электрон. Измеренный коэффициент двухфотонного поглощения воды на длине волны 266 нм составляет 8,1 · 10⁻¹¹ см²/Вт. Квантовый выход образования гидратированного электрона ~ 10%.

Таким образом, при проведении фотохимических и фотобиологических исследований, в которых используются мощные лазеры, следует учитывать возможность образования реакционноспособных радикалов при облучении оптически прозрачных растворителей.

Элементотропные превращения химических соединений

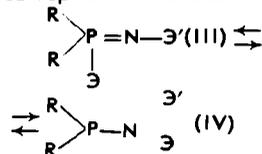
Еще десятилетие назад таутомерия — способность различающихся по химической активности структурных изомеров органических веществ легко и обратимо переходить друг в друга — связывалась исключительно с обратимым перемещением ионов водорода. Сведения о таутомерии значительно расширились после того, как была открыта внутримолекулярная миграция атомов германия, олова, сурьмы и мышьяка в элементзамещенных карбонильных соединениях. В 1972 г. группа сотрудников химического факультета МГУ под руководством И. Ф. Луценко показала, что явление элементотропии, связанное с перемещением в молекулах органических соединений атомов элементов IV и V групп Периодической системы Менделеева, имеет широкое распространение. Удалось не только наблюдать различную химическую активность изомеров, но и проследить за ходом таутомеризации, а также идентифицировать изомеры.

В последние годы эти исследователи изучали обратимые и необратимые процессы изомеризации в органических веществах, содержащих фосфорильную группу (PH₃). Таутомерные превращения в таких веществах связаны с миграцией атомов фосфора и изменением его координационного числа. Вначале такие превращения были обнаружены у соединений, содержащих два атома фосфора. Оказалось, что окисленные производные дифосфинов могут иметь строение либо ангидридов

кислот $\begin{matrix} X \\ | \\ P \\ | \\ Y \end{matrix} - O - \begin{matrix} X \\ | \\ P \\ | \\ Y \end{matrix}$ [I], либо моноокисей $\begin{matrix} X \\ | \\ P \\ | \\ Y \end{matrix} - \begin{matrix} X \\ | \\ R \\ || \\ O \\ | \\ Y \end{matrix}$ (II). Увеличению стабильности соединений со структурой I способствуют электроноакцепторные свойства и большой объем заместителей X и Y. При донорных свойствах

и малом объеме заместителей повышается относительная стабильность изомеров типа II.

Обратимые превращения, сопровождающиеся изменением структурной молекул и координационного числа атомов фосфора, были найдены также в элементзамещенных амидах фосфинистых кислот, содержащих атомы элементов IV группы. В этих соединениях таутомерия обусловливается миграцией атомов германия и олова:



(R — алкил, Э' — R₃Si, Э — R₃Ge или R₃Sn). В противоположность кремнию, который может быть связан только с азотом, германий способен образовывать связи двух типов: P—Ge и N—Ge, поэтому в случае германийзамещенных амидов могут существовать и находиться в равновесии оба изомера III и IV. Выяснилось, что относительная термодинамическая стабильность изомеров III и IV зависит не только от природы элементов IV группы в Э' и Э, но и от пространственных препятствий, создаваемых радикалами R. Относительная стабильность изомера III повышается с увеличением объема радикалов.

Изучение закономерностей элементотропии значительно расширяет существующие теоретические представления о таутомеризации и открывает новые возможности для целенаправленного синтеза, основанные на различной устойчивости и реакционной способности изомеров. В частности, ведется синтез фосфорорганических соединений, находящихся широком применении в качестве пестицидов: в результате присоединения серы к одному из исследованных таутомеров окисленного амидодифосфина получен продукт, обладающий высокой инсектицидной активностью при действии на паутиных клещей фасоли, комнатных мух и жуков рисового долгоносика.

Журнал общей химии, 1980, т. 50, с. 1236; Pure and Applied Chemistry, 1980, № 52, p. 917 (Великобритания).

Определена первичная структура β -субъединицы РНК-полимеразы

Транскрипция (ДНК-зависимый синтез РНК) — важнейший этап передачи генетической информации в системе ген → белок. Для понимания механизма транскрипции необходимо иметь максимально полную информацию о структуре РНК-полимеразы, фермента, участвующего в этом процессе и построенного из нескольких полипептидных цепей (субъединиц). Если аминокислотную последовательность α -субъединицы (молекулярный вес 40 000 Д) РНК-полимеразы кишечной палочки удалось установить обычными методами белковой химии¹, то выяснить структуру гигантских β -субъединицы (молекулярный вес 155 000 Д) и β' -субъединицы (165 000 Д) с помощью обычных подходов весьма трудно. Для определения первичной структуры столь длинных белков требуется разработка принципиально новых методов, поскольку опыта работы с полипептидными цепями такой длины практически нет.

Ю. А. Овчинников, Г. С. Монастырская, Е. Д. Свердлов и др. (Институт биоорганической химии им. М. М. Шемякина АН СССР) использовали для этой цели параллельное и независимое определение нуклеотидной последовательности структурных генов *groV* и *groC*, кодирующих β и β' -субъединицы, и аминокислотной последовательности соответствующих белков. Такой подход ускорил решение задачи и увеличил достоверность структурного анализа. Данные по нуклеотидной последовательности гена дают возможность расположить пептидные фрагменты в непрерывную полипептидную цепь; таким образом решается наиболее сложная задача структурного анализа. В свою очередь,

данные по аминокислотной последовательности пептидов позволяют упростить и уточнить анализ нуклеотидной последовательности, установить фазу считывания и в ряде случаев ориентировать отдельные фрагменты генов друг относительно друга.

Поиски соответствия аминокислотной и нуклеотидной последовательности осуществляли с помощью компьютера. При определении концевой последовательности β -субъединицы наряду с основной нуклеотидной последовательностью обнаружена последовательность, являющаяся результатом отщепления концевого метионина. Выяснилось, что полипептидная цепь β -субъединицы состоит из 1342 аминокислотных остатков (их молекулярный вес 150 619 Д); β -субъединица является кислым белком: на 213 остатков дикарбоновых аминокислот приходится 179 остатков основных аминокислот.

Начало трансляции β' -субъединицы осуществляется с помощью редко используемого иницирующего кодона ГТГ, которому предшествует тетрапептид ГТАГ, комплементарный 3'-концу рибосомной РНК. Расстояние между генами *groV* — *groC* составляет 76 пар нуклеотидов.

В настоящее время данные структурного анализа используются для выяснения роли β -субъединицы РНК-полимеразы в процессе транскрипции.

Доклады АН СССР, 1980, т. 253, № 4, с. 994—998.

Строение актиновых генов

Хорошо известно, что белок актин является одним из главных компонентов мышцы, выполняющий важнейшую роль в акте мышечного сокращения. Однако актин обнаружен не только в мышцах, но и в немышечных клетках, например, в тромбоцитах, а также в простейшем организме — амебе. Такой немышечный актин, оче-

видно, принимает участие в движениях клетки, не связанных с мышечными сокращениями. Исследовать функции актина в ряде случаев чрезвычайно сложно; одна из причин недостатка наших знаний о роли этого белка — сложность получения мутантных клеток с измененным актином. Молекулярно-генетический подход оказался эффективным в исследовании функций многих клеточных ферментов, отдельных компонентов рибосомы и т. п.

В настоящее время создана предпосылка для более глубокого изучения актина. Сотрудникам Всесоюзного кардиологического научного центра АМН СССР (Москва) удалось обнаружить актин в простейшем эвкариотическом организме — дрожжах *Saccharomyces cerevisiae*¹, для которого разработаны методы молекулярно-генетических исследований. Обнаруженный в дрожжах актин сходен по своим свойствам с актином из других организмов. Его молекулярный вес 42 000 Д, он способен полимеризоваться с образованием нитей толщиной 7 нм, связывать 1 молекулу адениловых нуклеотидов, активировать АТФазную активность мышечного миозина и т. п. Поскольку клетки дрожжей не способны к активному движению, предполагается, что дрожжевой актин может принимать участие во внутриклеточном движении, например, в движении протоплазмы, связанном с образованием почек, в конденсации и расхождении хромосом, входить в состав цитоскелета.

Обнаружение в дрожжевых клетках актина дало толчок для исследователей, изучающих структуру генома в клетках эвкариот. Так, американские специалисты из Калифорнийского университета идентифицировали актиновый ген в дрожжах. Оказалось, что этот ген

¹ Ovchinnikov Yu. A., Lipkin V. M. et al. FEBS Letters, 1977, v. 76, p. 108.

¹ Koteliansky V. E., Glukhova M. A., Bejaniyan M. V., Surguchov A. P. and Smirnov V. N. FEBS Letters, 1979, v. 102, № 1, p. 55—58.

уникален, т. е. присутствует в дрожжевом геноме в виде одной копии. При определении полной нуклеотидной последовательности этого гена в его составе был обнаружен некодирующий участок — интрон² длиной 309 пар оснований. Этот интрон располагается вблизи 5'-конца актинового гена. Таким образом, впервые было доказано существование интронов в хромосомных генах дрожжей, кодирующих белки. Это означает, что в дрожжах существует механизм сплайсинга (вырезания «лишних» нуклеотидных последовательностей на уровне РНК); механизм сплайсинга в дрожжах, судя по работе американских специалистов, весьма сходен с таким механизмом для высших организмов. Актиновый ген дрожжей служит примером типичного гена эукариот: в его составе имеется промоторный участок, в котором найдена последовательность Т—А—Т—А—Т—А—Т—, интрон внутри кодирующей части гена, а также полиаденилатная последовательность вблизи 3'-конца гена. Это еще раз подтверждает, что простейший эукариотический организм, дрожжи — чрезвычайно удобный объект исследования структуры генома и других фундаментальных вопросов молекулярной биологии.

Интересно, что строение актинов, выделенных из разных организмов, чрезвычайно сходно, а организация актиновых генов в геноме этих организмов существенно различается. Так, в отличие от дрожжей, обладающих единственным актиновым геном в клетке, плодовая муха дрозофила имеет 6 генов, простейший эукариотический организм *Dictyostelium discoideum* — 17 генов (в расчете на геном). В последнем случае интронов в составе актиновых генов не обнаружено.

Nucleic Acids Reserch, 1980, v. 8, № 5, p. 1043—1059 (Великобритания); Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, 1980, v. 77, № 7, p. 3912—3916 (США).

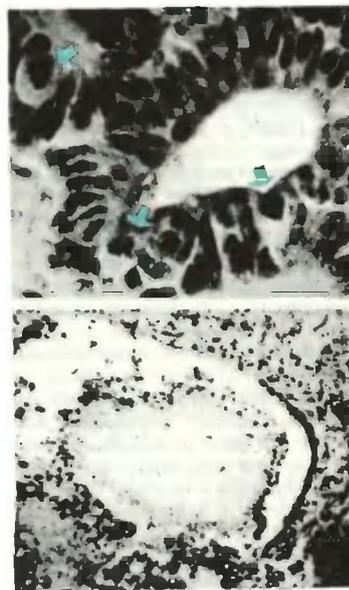
Вирусология

Полезные вирусы человека

В кишечнике человека наряду с полезными бактериями уже с первых дней после рождения присутствуют и полезные вирусы-сапрофиты, представленные многочисленными типами кишечных вирусов. Эти полезные вирусы способны подавлять болезнетворные кишечные вирусы (энтеровирусы), а также вирусы гриппа, герпеса, аденовирусы и др. Одновременно они стимулируют многие защитные реакции организма, включая общую неспецифическую сопротивляемость, гуморальный и клеточный иммунитет, образование в организме интерферона, а также оказывают благоприятное влияние на состояние лимфоцитарной и некоторых других систем естественной защиты организма от болезнетворных воздействий.

М. К. Ворошилова с сотрудниками (Институт полиомиелита и вирусных энцефалитов АМН СССР) на основе кишечных вирусов-сапрофитов разработали живые энтеровирусные вакцины. Эти вакцины были применены в СССР для ликвидации эпидемических вспышек энтеровирусных и респираторных инфекций, предотвращения эпидемий в целом на контингенте 320 тыс. человек¹.

Профилактика энтеровирусных болезней (менингитов, энцефалитов, полиомиелитоподобных заболеваний и др.) с помощью обычной вакцинации затруднена в связи с тем, что к настоящему времени установлен 71 тип этих вирусов и, естественно, очень сложно приготовить особую вакцину для каждого из них, кроме того, последние годы возникают все новые болезнетворные энтеровирусы, представляющие большую опасность. Например, новая энтеровирусная болезнь — острый геморрагический конъюнктивит — склонна к широчайшему



Раковая опухоль желудка человека (вверху). Видна железистая структура, стрелками указаны митозы. Та же опухоль через 4 дня после введения вакцинного полиовируса (внизу). Большая часть опухолевых клеток, выстилающих железистые структуры, разрушена.

пандемическому распространению с одновременным охватом сотен тысяч и даже миллионов людей. Меньшего распространения достигают эпидемии, вызываемые энтеровирусом 71-го типа, но протекают они очень тяжело. Достаточно сказать, что во время эпидемии вызванного этим вирусом полиомиелитоподобного заболевания в Болгарии в 1975 г. смертность среди заболевших маленьких детей была очень высока.

Предложенный Ворошиловой новый принцип борьбы с энтеровирусными болезнями путем подавления болезнетворных вирусов полезными вирусми-сапрофитами позволяет быстро гасить эпидемические вспышки, вызванные любыми энтеровирусами. После введения (через рот) живых энтеровирусных и полиомиелитных вакцин на 2—3 недели значительно повышается неспецифическая устойчивость организма к гриппу и другим сходным инфекциям. Поэтому разработанные вакцины

² Подробнее об интронах и механизме сплайсинга см.: Природа, 1980, № 8, с. 109.

¹ Ворошилова М. К. Энтеровирусные инфекции человека. М.: Медицина, 1979.

эффективно применялись для экстренной профилактики гриппа и других острых респираторных заболеваний, причем наряду с профилактическим был выявлен также и лечебный эффект, заключающийся в сокращении длительности и уменьшении тяжести болезни. Способность живых энтеровирусных вакцин подавлять многие болезнетворные вирусы и оказывать благотворное действие на защитные механизмы позволило применить их также для лечения ряда вирусных и предположительно вирусных болезней, а также заболеваний, в основе которых лежат нарушения иммунитета (рецидивирующие герпетические заболевания, некоторые нервные и кожные болезни, стоматиты и язвенные колиты).

Было также отмечено, что живые энтеровирусные полиомиелитные вакцины стимулируют противоопухолевый иммунитет и вызывают избирательное разрушение злокачественных клеток.

Применение полезных вирусов-сапрофитов с профилактической и лечебной целью дает и значительный экономический эффект. Например, их массовое применение на Горьковском автозаводе во время эпидемии гриппа обеспечило бесперебойную работу конвейера, в то время как конвейер, на котором не проводилась вакцинация, протанковал в связи с одновременным заболеванием многих тысяч рабочих.

Материалы 4-го съезда гигиенистов, санитарных врачей, эпидемиологов, микробиологов и инфекционистов Узбекистана. Ташкент, 1980, с. 227—229.

Зоология

Ориентирование тушканчиков с помощью вибрисс

У тушканчиков вибриссы¹ усов достигают большой длины и развиты сильнее, чем у других грызунов, причем несколько вибрисс (2—3) в пучке усов с каждой стороны значительно длиннее остальных. Так, у монгольского тушканчика (*Allactaga bullata*) их длина достигает

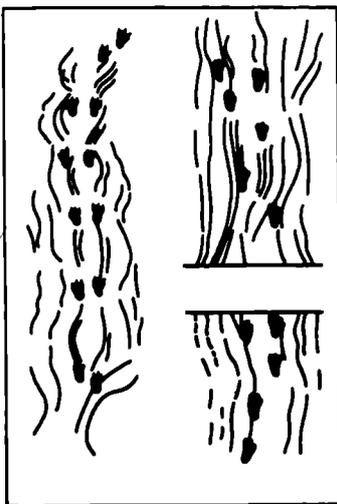


Рисунок следов пробежки длинноухого тушканчика [слева]. Внутренние вибриссы скользят по поверхности как раз в том месте, куда затем встанут задние лапки. Прыжок мохноногого тушканчика [справа] через барьер. Следы показывают, что в момент приближения к барьеру тушканчик ощупывает его вибриссами, затем прыгает и, еще находясь в воздухе, ощупывает поверхность по другую сторону барьера.

86 мм (около 60% длины тела), у мохноногого (*Dipus sagitta*) — 87 мм (65%), у длинноухого (*Euchoreutes naso*) — 76 мм (95%). Чтобы установить функциональное назначение этих вибрисс у различных видов тушканчика, В. Е. Соколов и В. Ф. Куликов (Институт эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова АН СССР) провели серию оригинальных опытов.

Зверьков выпускали в испытательный коридор размером 30×120 см, на дно которого были положены длинные листы закопченной бумаги. Тушканчик мог здесь двигаться лишь в

одном направлении. В усложненном варианте опыта на закопченную бумагу ставили барьер высотой 5 см, шириной 2,5 см. Оказалось, что тушканчик, помимо следов лапок, оставляет на закопченной бумаге отчетливые черточки от кончиков вибрисс, т. е. при движении он постоянно касается ими поверхности, по которой передвигается. При этом одна-две внутренние вибриссы скользят по поверхности как раз в том месте, куда потом встанут задние лапки животного. В случае, когда зверек прыгает через барьер, следы вибрисс подходят к препятствию, обрываются, а затем вновь появляются по другую его сторону, опережая следы лапок. Следовательно, в момент приближения к барьеру тушканчик ощупывает его вибриссами, затем прыгает, а перед приземлением ощупывает вибриссами поверхность по другую сторону барьера.

Таким образом, при передвижении наиболее длинные вибриссы обеспечивают у тушканчиков специальный механизм контроля поверхности. Очевидно, необходимость столь точного контроля связана со способом передвижения: тушканчики передвигаются в темноте посредством прыжков, отталкиваясь одновременно обеими задними конечностями и приземляясь одновременно на обе конечности. При таком способе очень важно поставить лапки с учетом микронеровностей поверхности в месте приземления, чтобы затем можно было оттолкнуться каждой ногой соразмерно углу ее наклона. Только при соблюдении этих условий не будет боковых отклонений тела в момент толчка.

Доклады АН СССР, 1980, т. 235, № 4, с. 1120—1122; № 6, с. 1383—1386.

Палеонтология

Уникальное местонахождение древнейших животных

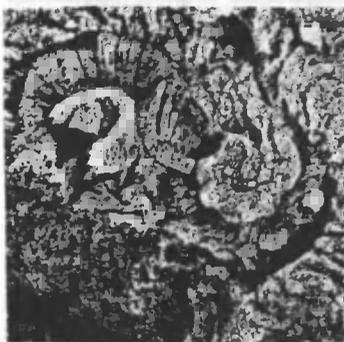
Исследуя докембрийские отложения на Зимнем берегу Белого моря, М. А. Федонкин (Палеонтологический институт

¹ Вибриссы (от лат. *vibro* — колеблюсь, извиваюсь) — утолщенные, выступающие над шерстным покровом чувствительные (осозательные) волосы млекопитающих. Обычно они расположены группами на голове животного — на носу, над глазами, на нижней челюсти и т. д.

АН СССР) открыл уникальное по богатству и разнообразию местонахождение остатков древнейших многоклеточных животных. Это самое крупное в Северном полушарии местонахождение расположено в 100 км к северо-северо-западу от Архангельска. В обнажающихся по берегу моря осадочных толщах вендского возраста сохранились многочисленные отпечатки и слепки животных, населявших вендское море более 600 млн лет назад. Их размеры варьируют от 3—4 мм до 40—50 см. Все организмы были бесскелетными. Среди них имеются представители кишечноротовых, плоских червей, аннелид, предковые формы членистоногих и, возможно, иглокожих. До 70% описанных видов составляют кишечноротовые — разнообразные медузы, одиночные и колониальные полипы, в том числе крупные перистые формы, напоминающие современных пеннатулярий. У плоских червей встречаются листовидные формы с гладкими покровами, но более характерны организмы с сегментированным телом (или покровами). Подчас определение систематического положения тех или иных организмов вызывает серьезные затруднения, поскольку специфические для них особенности строения, в частности типы симметрии, не встречаются или крайне редки у беспозвоночных более поздних геологических эпох и у ныне живущих организмов.

До недавнего времени ведущая роль в изучении докембрийской бесскелетной фауны принадлежала австралийским ученым, а открыто еще в 40-х годах знаменитое местонахождение древнейших бесскелетных организмов близ Эдиджары (Южная Австралия) стало эталонным. С открытием местонахождения докембрийской фауны на Зимнем берегу Белого моря в СССР впервые появилась возможность собирать и исследовать богатый и разнообразный материал по древнейшим многоклеточным животным.

В составе описанной к настоящему времени вендской фауны обнаружено более десятка видов, которые известны из докембрийских отложений Южной Австралии. Присутствие одина-



Многотыпные окаменелости, обнаруженные в вендских отложениях Зимнего берега Белого моря (сверху вниз): *Dickinsonia costata* Sprigg — плоский червеобразный организм с сегментированным телом, близкий по организации к турбелляриям (длина тела около 2 см); *Pomoria corolliformis* Fedonkin — мелкие медузы неясного систематического положения, имеющие два венчика щупалец (диаметр зонтика со щупальцами 25 мм); *Tirasiana disciformis* Palij — слепок базальной части крупного плоскоконического полипа (диаметр 10 см); *Charnia masoni* Ford — перистоветвистая колония полипов неясного систематического положения, напоминающая современных пеннатулярий (видимая длина 13 см).

ковых форм в столь удаленных регионах свидетельствует о наличии фаунистической связи между ними в позднем докембрии и, возможно, о близости возраста отложений, заключающих эти окаменелости. Дальнейшие исследования древнейшей бесскелетной фауны важны не только тем, что дадут ценную информацию о наиболее ранних этапах эволюции многоклеточных животных и становлении основных типов беспозвоночных. Есть основания надеяться, что остатки вендской фауны можно будет использовать как индикатор геологического времени, как инструмент расчленения и корреляции докембрийских отложений.

Палеонтологический журнал, 1980, № 2, с. 7—15.



Экология

Водные беспозвоночные — индикаторы загрязнения водоемов

А. В. Жулидов, В. М. Емец и А. С. Шевцов (Ростовский государственный университет и Воронежский государственный заповедник) использовали в диагностике загрязнения водоемов пресноводных беспозвоночных (брюхоногих моллюсков, жуков, клопов).

Содержание тяжелых металлов (Mn, Zn, Pb, Cu) опреде-

лялось в пробах воды, донных отложений, в растениях и телах водных беспозвоночных, отобранных из двух рек — Усмани и Ивицы, протекающих по территории Воронежского государственного заповедника. Усмани на своем пути до заповедника вбирает стоки промышленных предприятий и населенных пунктов, а Ивица берет начало и формируется на территории заповедника. Обычные методы химического анализа воды, донных отложений и растений существенных различий между загрязненной и незагрязненной реками не обнаруживают. В телах же водных беспозвоночных из загрязненной реки все определяемые тяжелые металлы обнаружены в довольно высоких концентрациях.

Беспозвоночные как концентраторы тяжелых металлов оказались неравноценными: растительноядный брюхоногий моллюск *Lymnaea stagnalis* в максимальных количествах накапливал Mn и Pb, хищный клоп-гладыш *Notonecta glauca* — Zn, а жук-плавунец — *Dytiscus marginalis* — Cu.

Таким образом, различные виды беспозвоночных-гидробионтов могут быть использованы для контроля за содержанием разных тяжелых металлов в водных экосистемах уже на ранних стадиях их загрязнения, когда пробы воды и донных отложений этого не выявляют.

Доклады АН СССР, 1980, т. 252, № 4, с. 1018—1020.

Почвоведение

Как долго формируются почвы!

В качестве первых объектов для определения абсолютного возраста почв радиоуглеродным методом, которое было начато в 60-х годах, исследователи брали черноземы и черноземно-луговые почвы, поскольку они содержат наибольшее количество органического вещества. Ныне Е. В. Рубилин



Зависимость возраста каштановых почв от глубины их залегания в Моздокской степи и на Ставропольском плато. Точки — результаты измерений. Прерывистые линии соответствуют расчетным данным.

и М. Г. Козырева (Ленинградский государственный университет) определили абсолютный возраст почв другого типа — каштановых, которые распространены в сухих степях южных окраин Русской равнины. Образцы отбирали в Моздокской степи (на левобережье р. Терек в Северо-Осетинской АССР) и на Ставропольском плато (в Туркменском районе Ставропольского края). Оба эти пункта расположены в сухой полынно-злаковой степи Восточного Предкавказья.

Общая толщина гумусовых горизонтов в обоих разрезах — около 80 см. Как это и свойственно типичным каштановым почвам, содержание гумуса в них невысокое: в метровом слое почвы — около 280 т/га. Для определения абсолютного возраста измерялась удельная активность изотопа углерода ^{14}C в отдельных фракциях гумуса. Возраст каждого генетического почвенного горизонта определялся по наиболее древней для него датировке, а время начала формирования почв — по возрасту гумуса самых глубоких горизонтов.

Полученные данные позволяют считать, что формирование каштановых почв на Предкавказской равнине началось не менее 7000 лет назад, что близко к возрасту черно-

земов Русской равнины. Каждый год слой каштановых почв увеличивался на 0,16—0,17 мм. Датировку самых нижних (начиная с 90—110 см) горизонтов почвенного разреза выполнить оказалось невозможным из-за почти полного отсутствия в них органического вещества. Однако возраст их можно вычислить, приняв ту же скорость «роста» почвенного слоя, что и в вышележащих исследованных частях разрезов: для моздокского разреза он составляет на глубине 2 м от поверхности 11 700 лет, а для ставропольского — 10 800 лет.

Известно, что исследуемая территория в прошлом неоднократно покрывалась водой во время трансгрессии Каспийского моря. Почвы могли начать формироваться только после спада воды. Последняя из трансгрессий (верхнехвалынская) была 9700—15 500 лет назад, что согласуется с вычисленным возрастом каштановых почв Предкавказья. Совпадение возрастов свидетельствует, что формирование почв началось вслед за отступлением моря. Около 4000 лет назад биоклиматические условия в исследуемом районе, по-видимому, заметно изменились, на что указывает изменение наклона кривых на графике зависимости возраста почвы от глубины.

Почвоведение, 1980, № 1, с. 5—14.

Геология

Советско-польский проект «Граница докембрия и кембрия»

Международная рабочая группа польских и советских специалистов завершила крупный этап обобщающих исследований в области палеонтологии, стратиграфии и палеогеографии древнейших отложений осадочного чехла Восточно-Европейской платформы. В исследованиях, начатых около 10 лет назад в рамках двустороннего проекта по проблеме «Граница

докембрия и кембрия», принимали участие сотрудники геологических учреждений академий наук и министерств геологии ПНР и СССР. В ходе этих работ были детально изучены естественные выходы отложений позднедокембрийского (вендского) и кембрийского возраста, накопившихся 700—500 млн лет назад на древних платформах, изучены обширные материалы бурения, установлены строение, распределение и состав отложений и характерные для них органические остатки: растительные микрофоссилии, макроскопические многоклеточные водоросли, отпечатки докембрийских бесскелетных животных, остатки скелетных организмов кембрия, а также следы жизнедеятельности древнейших морских беспозвоночных, существенно дополняющие наши знания об экологии, поведении, способах передвижения и питания этих животных. В итоге получены достаточно полные данные о флоре и фауне платформенного моря далекого прошлого — их богатстве и разнообразии, о характере изменения органического мира этого региона на протяжении венда и кембрия¹.

В составе вендских и кембрийских отложений выделены стратиграфические горизонты, которые имеют четкое палеонтологическое обоснование и являются основой для расчленения и корреляции толщ этого возраста². Преимущественно обломочные отложения свойственные не только Восточно-Европейской платформе, но и большинству разрезов, принадлежащих к так называемой Атлантической провинции. Для этих отложений характерны типичные ассоциации ископаемой фауны и флоры, резко отличные от установленных в областях с преимущественно карбонатными осадками. Поэтому разре-

зы Восточно-Европейской платформы могут стать эталоном для разработки единой стратиграфической схемы венда и кембрия огромного региона — от европейской части СССР до восточных берегов Северной Америки.

Важнейшей частью совместных работ было составление серии литолого-палеогеографических карт³, на которых воссозданы очертания древних морских бассейнов и суши, их эволюция, указаны направления сноса осадков и их состав. Анализ этих карт показал, что при переходе от докембрия к кембрию бассейн платформенного моря не испытал существенных изменений, наследуя основные черты вендского бассейна. Кардинальная его перестройка наблюдается в середине кембрия. Эти данные представляют не только теоретический, но и большой практический интерес, в частности для поисков месторождений полезных ископаемых.

М. А. Федонкин,
кандидат геолого-
минералогических наук
Москва

Геология

Новый механизм образования осадочных руд железа

Общепринято считать, что поставщиком железа для его морских и озерных месторождений служит кора выветривания, образовавшаяся на соседних с водным бассейном поднятиях; железистые соединения во взвешях, растворах переносятся речными и грунтовыми водами в бассейн, где и осаждаются. Такое же происхождение приписывается и железным рудам Ангаро-Питского бассейна — одного из крупнейших в СССР. Он расположен

на юго-востоке Енисейского кряжа в крупном прогибе, заполненном на глубину 9—10 км рифейскими отложениями, сформировавшимися 1650—600 млн лет назад. Однако в этом районе — ни на палеоподнятиях Енисейского кряжа, ни на прилегающих к прогибу с востока поднятиях Сибирской платформы — практически нет пород, богатых соединениями железа и способных при выветривании поставлять его в Ангаро-Питский бассейн. Указав на это, Д. И. Павлов и Е. С. Постельников (Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии АН СССР и Геологический институт АН СССР), доказывают на примере Ангаро-Питского бассейна возможность существования принципиально иного, глубинного источника рудного вещества.

Рудоносный горизонт (100—150 м) Ангаро-Питского бассейна находится в верхней части рифейских отложений и представлен серией мелководных морских осадков. Под ними расположен мощный терригенно-карбонатный комплекс с горизонтами (по несколько сот метров) глинистых отложений, первично существенно обогащенных железом. На большой глубине глины подвергались гидрослюдизации, которая неизбежно сопровождается выделением значительных объемов межслоевых вод. Их вынос на поверхность происходил преимущественно вдоль протяженной зоны разбитых трещинной пород, примерно соответствующей границе рифейских суши и моря. Именно в этой зоне и сосредоточены железорудные залежи Ангаро-Питского бассейна.

Химический состав межслоевых вод зависит от минерального состава исходной породы, степени ее уплотнения, температуры и других условий. По экспериментальным данным, межслоевые воды выносятся до 32% железа, содержащегося в обогащенной им глине. Максимальное отделение межслоевых вод (до 10—15% от объема глинистой толщи) происходит при 85—120°C, что соответствует глубине погружения глин на 2—4 км. Именно такие

¹ Подробнее см.: Палеонтология верхнедокембрийских и кембрийских отложений Восточно-Европейской платформы. М.: Наука, 1979.

² Стратиграфия верхнедокембрийских и кембрийских отложений запада Восточно-Европейской платформы. М.: Наука, 1979.

³ Палеогеография и литология венда и кембрия запада Восточно-Европейской платформы. М.: Наука, 1980.

условия существовали к началу отложения руд в Ангаро-Питском бассейне.

Отделяемые воды стремятся переместиться в участки пониженных пластовых давлений или излиться на поверхность. Это реализуется лишь при наличии среди глин пластов пористых отложений (коллекторов) или при рассечении водо-генерирующей толщи глубокими разрывами. Во время интенсивных тектонических движений, когда на площади осадочного бассейна резко изменяются пластовые давления, проницаемость горных пород сильно возрастает и отделение межслоевых вод приобретает импульсный характер. Именно к этапу такой структурной перестройки (смене геосинклинального режима горообразованием) и относится накопление ангаро-питских руд. Дополнительное обогащение межслоевых вод железом происходило при их фильтрации сквозь породы-коллекторы, в особенности — через содержащие карбонаты и хлоридные соединения (а эти породы обычны для рифейских морских отложений Ангаро-Питского прогиба).

Рассмотренный механизм подтверждается особенностями сложения руд Ангаро-Питского бассейна и существованием прямой зависимости между масштабами оруденения и мощностью глинистых горизонтов в подстилающих эти руды осадках.

Учитывая вероятное количество выделенных из глин вод, содержание в них железа и другие параметры, авторы подсчитали рудопродуцирующую мощность предлагаемого механизма для крупнейшего месторождения бассейна — Нижне-Ангарского. Полученная цифра (~ 1,5 млрд т) хорошо согласуется с разведанными на этом месторождении запасами руд.

Таким образом, в выяснении источников рудного вещества при осадочном рудообразовании принципиальную важность приобретают палеогеодрологические факторы. Если под трансгрессивно залегающими комплексами пород обнаружены мощные существенно обогащенные железом глини-

стые толщи, чередующиеся с водопроницаемыми горизонтами, можно предполагать, что в основании этих комплексов находятся залежи железных руд.

Литология и полезные ископаемые, 1980, № 6, с. 3—20.

Геология

Тектоническая карта Северной Евразии

В Геологическом институте АН СССР под руководством А. В. Пейве и А. Л. Яншина составлена новая тектоническая карта, сопровождаемая объяснительной запиской¹. Карта основана на современных представлениях о геосинклинальном процессе, который рассматривается как превращение океанов геологического прошлого и современных в континенты с образованием так называемых базальтового и гранитного слоев, иначе говоря, как преобразование океанической коры в континентальную. Время становления континентальной коры и составляет новый принцип тектонического районирования земной коры материков.

На карте показана континентальная кора разного возраста. Всего выделено 8 разновозрастных областей — от наиболее древней, сформировавшейся к началу рифея (1600 млн лет назад), до наиболее молодой, формирующейся в настоящее время. Внутри таких областей показаны различные структурно-вещественные комплексы и тектонические деформации. Специально выделены фрагменты более древней континентальной коры, которые представляли собой микроконтиненты и острова среди океани-

ческих пространств. Карта сопровождается мелкомасштабной схемой распространения континентальной коры разного возраста и рельефа поверхности Мохоровичича.

Время зарождения континентальной коры отождествляется с началом формирования грубообломочных толщ горных пород (молласов), специфических вулканогенно-молласовых комплексов и калиевых гранитоидов. В Северной Евразии континентальная кора на большей части территории образовалась еще в докембрийское время, причем ее формирование шло двумя путями: при автохтонном способе — за счет метаморфизма и гранитизации ее океанической и переходной стадий; при аллохтонном — за счет тектонического совмещения палеоокеанических комплексов с гранитно-метаморфическими образованиями более древней континентальной коры. В отдельных регионах происходили обратные процессы в развитии земной коры — ее разрушение в результате растяжения и в связи с этим — уничтожение гранитного и сокращение базальтового слоев.

Составление карты способствует дальнейшему развитию учения о структурной эволюции земной коры, а также выяснению новых закономерностей размещения в ней многих видов минерального сырья. Особенно большую роль она сыграет в металлогеническом прогнозировании, и в первую очередь тех полезных ископаемых, образование которых связано с геосинклинальным процессом.

А. Е. Шлезингер,
доктор геолого-
минералогических наук
Москва

Минералогия

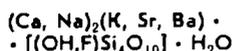
Чароит — новый минерал и ювелирно-поделочный камень

В последние годы на многих международных выставках с успехом демонстрировались, а теперь появились

¹ Тектоническая карта Северной Евразии. Гл. ред. А. В. Пейве, А. Л. Яншин. Масштаб 1:5 000 000. Объединение «Аэрогеология», 1980; Тектоника Северной Евразии (Объяснительная записка к Тектонической карте Северной Евразии масштаба 1:5 000 000). М.: Наука, 1980.

и в витринах ювелирных магазинов всевозможные изделия (вазы, браслеты, вставки для колец, запонки, кулоны и др.), изготовленные из природного камня очень редкой окраски (см. четвертую стр. обложки). Это — чароит, названный так по месту его находки советскими геологами в среднем течении р. Чары в Восточной Сибири. Первооткрывателям чароита — В. П. Роговой, Ю. Г. Рогову, В. А. Дрицу и Н. Н. Кузнецовой — удалось в 1978 г. доказать, что этот минерал является новым, ранее неизвестным природным соединением¹.

Образуется чароит при высокотемпературном метасоматическом изменении щелочных глубинных пород, богатых калием. Его химический состав (в процентах: SiO₂ — 56,52; CaO — 20,69; BaO — 2,99; SiO — 1,3; Na₂O — 2,88; K₂O — 9,70; F₂ — 0,83; H₂O — 4,44) отвечает следующей структурной формуле:



Минерал не растворяется в кислотах, отличается достаточной прочностью и вязкостью и очень хорошо поддается полировке.

Цвет чароита меняется от светло-сиреневого до фиолетового; особую красоту камню придает шелковистый переливчатый блеск, обусловленный его тонковолокнистым строением. В массе минерала часто встречаются звездчатые включения медово-желтого тинаксита и темно-зеленого эгирина; тончайшие игольчатые кристаллы чароита словно обтекают округлые зерна кварца и полевого шпата. Эти структурно-текстурные особенности и придают чароиту как новому ювелирно-поделочному камню его неповторимое своеобразие.

Образцы чароита хранятся в Минералогическом музее АН СССР, а в Салоне цветного камня Всесоюзного объединения

«Союзкварцсамоцветы» представлены изделия из него.

Геологами разведаны большие запасы этого минерала.

А. М. Портнов,
кандидат геолого-минералогических наук

Москва

Физика атмосферы

Модель общей циркуляции атмосферы и океана

Создание математической модели общей циркуляции атмосферы и океана — одна из центральных проблем в решении задачи долгосрочного прогноза погоды и теории климата. Г. И. Марчук, В. П. Дымников, В. Б. Залесный, В. Н. Лыков, И. М. Бобылева, В. Я. Галин, В. Л. Перов (Вычислительный центр Сибирского отделения Академии наук СССР) создали трехмерную модель циркуляции, которая описывается системой дифференциальных уравнений гидротермодинамики. В численном эксперименте по расчету совместной циркуляции атмосферы и океана авторы использовали данные, соответствующие зимнему периоду в Северном полушарии: были заданы среднеянварское склонение Солнца, граница морских льдов, альbedo облаков и поверхности океана, сглаженный рельеф поверхности Земли.

В результате численного эксперимента выявились общее охлаждение океана в Северном полушарии и в тропиках и нагрев Южного полушария в средних и южных широтах. Выделяется локальный минимум температуры поверхности океана в тропиках, связанный с экваториальным апвеллингом (подъемом глубинных вод к поверхности), некоторое уменьшение вихревых потоков к полюсам тепла, смещение тропического пояса осадков к югу примерно на 10° (вслед за смещением максимума поверхностной температуры).

В целом модель хорошо воспроизводит основные клима-

тические характеристики реальной атмосферы и океана, выделяет засушливые и увлажненные зоны на континентах. Интересно, что Индия воспроизводится как засушливая область, поскольку зимний муссон не несет с собой влаги.

Доклады АН СССР, 1980, № 253, с. 577—581.



Охрана природы

Успешный опыт реинтродукции кулана в Туркменинии

В прошлом кулан (*Equus hemionus*) был широко распространен в Туркменинии, Узбекистане и Казахстане. Однако из давно освоенных человеком районов центральной Туркменинии куланы исчезли еще в XVII—XVIII вв. В середине и конце XIX в. они оставались лишь на Устюрте, Капланкыре и в прилегающих пустынях Западной Туркменинии. На востоке Туркменинии они встречались от Душака до Карабиля. Наиболее многочисленны куланы были в междуречье Теджена и Мургаба, где и по сей день в Бадхызском заповеднике сохранилась единственная аборигенная популяция куланов в СССР.

Если к моменту организации Бадхызского заповедника в 1941 г. там насчитывалось едва ли более 200 куланов, то теперь поголовье достигло примерно 2000. Учитывая пригодную для обитания площадь, плотность популяции кулана в Бадхызском заповеднике к 1980 г. превысила 25 голов на 1000 га. Таким образом, положение с куланами в этом заповеднике можно считать благополучным. Этот редкий вид, занесенный в Международную Красную книгу и Красную книгу СССР, достиг в нашей стране численности, гарантирующей его сохранение. В связи с этим возник вопрос о дальнейшем расселении кулана в Туркменинии. Это тем более

¹ Записки Всесоюз. минерал. об-ва, 1978, вып. 1, с. 94.

своевременно, что емкость пастбищ для них в Бадхызском заповеднике невелика, а естественное расселение затруднено, так как окружающие территории интенсивно используются как пастбища для домашнего скота и сельскохозяйственные угодья.

Поиск мест для реинтродукции кулана привел работников Государственного комитета лесного хозяйства, заповедников и охраны природы Совета Министров ТуркмССР в Меана-Чаачинский заказник. Он расположен в обширной пустынной равнине предгорий Восточного Копетдага, на площади 60 тыс. га. Здесь куланы были обычны еще в начале 30-х годов, а последних наблюдали в 1938 г.

В апреле 1978 г. в этот заказник из Бадхыза было завезено 11 куланов — восемь самок и три самца; их поместили в круглый вольер диаметром около 50 м, где и содержали в течение года. Куланы ежедневно получали вдвое сена и по 3 кг ячменя каждый. Злаковое и разнотравное сено, которым сначала кормили куланов, видимо, не вполне удовлетворяло животных: у них ненормально протекала линька. Добавка к селу свежескошенных солянок быстро исправила положение. Выпущенные на свободу в апреле 1979 г., куланы первое время держались около вольера, а затем начали кочевать. В сформированном стаде было 8 самок и 1 самец. Два самца держались отдельно. Зима 1979/80 г. была мягкой, малоснежной, и куланы благополучно перезимовали. Гон и рождение молодняка прослежены не были, но в июле все самки, за исключением одной, были с жеребятами (у одного жеребенка, очевидно, был поврежден позвоночник, и он вскоре пал). Таким образом, стадо возросло на 40%, что следует считать очень хорошим показателем воспроизводства. Табун водила одна из самок, а жеребец находился в 50—100 м от стада (два самца, как и раньше, держались в другом районе заказника). Когда табун перемещался, самец шел позади или был с той стороны табуна, которая находилась ближе к источнику беспокойства (нашу автомашину куланы подпускали не ближе 100—150 м). Итак, новое стадо куланов

в Меано-Чаачинском заказнике сформировалось и сохранило присущие виду черты популяционной структуры и социального поведения.

В ноябре 1980 г. начат второй опыт реинтродукции куланов: они завезены в вольер Калининского заказника, примыкающего с востока к Копетдагскому заповеднику. Этот заказник площадью 15 тыс. га представляет собой холмистые предгорья и широкие долины. В 1981 г. планируется завести куланов в западную часть Копетдагского заповедника, а в последующие годы — в новый, находящийся еще в стадии организации Капланкырский заповедник на западе Туркмении. Последнее место нам представляется особенно перспективным: здесь хорошие обширные пастбища площадью более 500 тыс. га, что даст возможность куланам широко кочевать при сезонной смене пастбищ; есть хорошие укрытия от зимней непогоды. Необходимо лишь предусмотреть создание дополнительных мест водопоя.

Проведенный опыт подтверждает способность кулана быстро адаптироваться при переселении в новые районы, его высокую воспроизводительную возможность. Сегодня есть все основания говорить об успехе реинтродукции кулана в Туркмении.

А. Г. Банников,
доктор биологических наук
Москва



Охрана природы

Советско-американские исследования китообразных в Тихом океане

В соответствии с программой советско-американских исследований морских млекопитающих, осуществляемой по межправительственному соглашению о сотрудничестве между СССР и США в области охраны окружающей среды¹, в июне-июле 1980 г. была проведена экспедиция на научно-исследо-

вательском судне «Дэвид Стар Джордан» у побережья Калифорнии. С советской стороны в экспедиции участвовали автор этого сообщения (Тихоокеанский научно-исследовательский институт океанографии и рыбного хозяйства) и В. Н. Минеев (Главрыбвод Министерства рыбного хозяйства СССР).

За время рейса, длившегося 25 дней, обследован прибрежный район от 27° до 41° с. ш. — крайне интересный по природным условиям. Здесь проходят северные границы обитания комплекса южных видов и южные границы обитания ряда северных видов морских млекопитающих. В этом районе нами обнаружено 8 видов крупных китов: голубые (*Balaenoptera musculus*), финвалы (*B. phialsalus*), горбатые (*Megaptera podosa*), серые (*Eshrichtius glaucus*), кашалоты (*Physeter macrocephalus*), киты Брайда (*B. edeni*), берардиусы Берда (*Berardius baerdi*) и малые полосатики (*B. acutostrata*). В наибольшем количестве (36—40 голов) и на разных широтах (до 35° с. ш.) наблюдались голубые киты. Встречавшиеся и поодиночке и группами до 6 особей, эти киты были определены нами как голубые киты-пигмеи или короткохвостые (*B. m. breviscaudata*). Обнаружение их в этом районе существенно меняет представления об ареале голубых китов-пигмеев. Впервые этот вид был обнаружен в Индийском океане и описан в начале 60-х годов. В восточных районах Тихого океана они в очень ограниченном числе наблюдались во время советско-американского рейса в 1975 г. Материалы нашего рейса позволяют теперь считать, что в восточных районах Тихого океана (примерно от 20° ю. ш. до 35° с. ш.) обитает большая самостоятельная популяция (а скорее всего две) блювалов-пигмеев, совсем не затронутая промыслом.

¹ О предыдущем этапе советско-американских исследований по проекту «Морские млекопитающие» см.: Новый метод исследования китообразных. — Природа, 1980, № 3, с. 115.

Нами наблюдались представители 7 видов дельфинов общей численностью около 5 тыс. голов. Преобладали дельфины-белобочки (*Delphinus delphis*), державшиеся очень большими и плотными группами до 500—1300 голов, и тихоокеанские белобочие дельфины (*Lagenorhynchus obliquidens*), объединенные в группы до 300—500 голов.

Каждая встреча с китообразным соответствующим образом регистрировалась; записывались данные о поведении и внешних признаках животного (профиль, форма спинного плавника и хвостовых лопастей, особенности окраски и т. п.). Накопление таких сведений позволит выделить определенные, генетически обусловленные типы экстерьера, в частности окраски, которые могут лечь в основу популяционного разделения китообразных только по материалам визуальных наблюдений в открытом море. Этим же методом разработанным совместно советскими и американскими специалистами², можно изучать и внутривидовую структуру китообразных — выделять семьи и другие мелкие группы особей, связанных генетическим родством.

Проведенные в экспедиции расчеты показали, что отдельные популяции дельфинов в связи с промыслом тунцов (во время которого дельфины гибли в сетях) значительно сократились. Например, восточная группа популяций рода *Stenella* за период с 1960 по 1975 г. уменьшилась в 5 раз (с 15-19 млн голов до 3 млн). В последние годы их численность стабилизировалась на этом уровне. Необходимо отметить, что за счет некоторых изменений в конструкции неводов и дополнительных операций по освобождению запутавшихся дельфинов их гибель резко сократилась — с более чем 300 тыс. голов в год в начале 70-х годов до 30 и менее тысяч в настоящее время.

Во время рейса параллельно с биологическими исследованиями осуществлялся комп-

лекс океанографических наблюдений: непрерывно регистрировались соленость и температура воды, содержание биогенных элементов, количество хлорофилла, спектральные характеристики водной поверхности, характер берегового сноса и подъем глубинных вод и т. д.

Советско-американская экспедиция по проекту «Морские млекопитающие» — лишь одна из целого ряда совместных научных мероприятий, выполненных учеными обеих стран в 1980 г.

А. А. Берзин,

Владивосток



Организация науки

Юбилей юннатского движения

11 октября 1980 г. во Всесоюзном научно-исследовательском институте охраны природы и заповедного дела Министерства сельского хозяйства СССР состоялась встреча, посвященная 30-летию кружка юных биологов Всероссийского общества охраны природы (ВООП) и памяти организатора этого кружка Петра Петровича Смолина (1897—1975).

В послевоенные годы, когда еще не было специализированных школ с научно-профессиональным уклоном, П. П. Смолин — энциклопедически образованный биолог, одинаково хорошо знавший и фауну и флору, страстный и неутомимый пропагандист биологических знаний, впоследствии главный хранитель Дарвиновского музея — организовал и возглавил кружок юных биологов Московского зоопарка, а затем — юношескую секцию ВООП. Занятия на базе Дарвиновского музея, биологического и географического факультетов Московского государственного университета, Ботанического сада АН СССР, воскресные выезды за город, летняя работа в заповедниках и различных экспедициях, куда Петр Петрович определял своих питомцев,—

все это воспитывало в сотнях и сотнях подростков — юных советских гражданах — любовь к родной природе, к биологии.

На юбилейную встречу пришло немало бывших кружковцев. Среди них научные сотрудники разного профиля: биологи, зоотехники, охотоведы, лесоводы, агрономы, врачи; в числе научных сотрудников самого Института охраны природы и заповедного дела насчитывается 14 бывших членов юношеской секции ВООП. Десятки воспитанников П. П. Смолина работают в других биологических институтах и вузах Москвы, Сибири, Дальнего Востока, некоторые стали профессорами, руководителями научных учреждений.

Теперь занятия с кружковцами Всесоюзного общества охраны природы ведут ученики П. П. Смолина. С 1972 г. юные натуралисты Москвы объединились при Доме пионеров Ленинского района в кружок юных биологов и краеведов — КЮБиК. В 1980 г. организован кружок школьников на биологическом факультете при Молодежном совете МГУ по охране природы.

Юннатское движение в стране растет. Оно служит надежным источником высококвалифицированных и увлеченных кадров биологов и деятелей в области охраны окружающей природной среды.

А. В. Яблоков,

доктор биологических наук, первый председатель юношеской секции ВООП

Л. Г. Быкова,

кандидат биологических наук
Москва

² Там же.

Виктор Михайлович Галицкий

7 января 1981 г. безвременно скончался Виктор Михайлович Галицкий, член-корреспондент АН СССР, директор Отделения общей и ядерной физики Института атомной энергии им. И. В. Курчатова, профессор Московского инженерно-физического института, заместитель главного редактора журнала «Природа».

В расцвете творческих сил ушел из жизни выдающийся советский физик-теоретик, талантливый педагог и пропагандист

науки, обаятельный человек, никогда не жалевший ни сил, ни времени для своих друзей, сотрудников, учеников.

В. М. Галицкий родился в Москве 8 сентября 1924 г. Сразу после окончания школы в 1942 г. Виктор Михайлович вступил в ряды Советской Армии и принимал участие в сражениях Великой Отечественной войны. В боях на Орловско-Курской дуге он был тяжело ранен и демобилизован.

В 1949 г. В. М. Галицкий окончил

Московский инженерно-физический институт. С этого времени и до последних дней его жизнь связана с этим вузом и с Институтом атомной энергии им. И. В. Курчатова. В Институте атомной энергии он быстро стал одним из ведущих теоретиков, ученым с мировым именем; в МИФИ проявился и окреп педагогический талант Виктора Михайловича, здесь он прошел путь от студента до заведующего кафедрой теоретической ядерной физики.

В 1962—1965 гг. В. М. Галицкий работал в Сибирском отделении АН СССР, где был одним из создателей Института ядерной физики СО АН СССР.

Глубокая интуиция физика, блестящее профессиональное мастерство теоретика, широкий круг интересов позволили Виктору Михайловичу выполнить целый ряд основополагающих работ, которые оказали фундаментальное воздействие на развитие самых разных разделов современной теоретической физики. Методы, созданные им в теории плазмы, широко используются в настоящее время, они легли в основу многих дальнейших исследований. Международное признание принесли ему ставшие классическими работы по применению методов квантовой теории поля в теории твердого тела. Ему принадлежат прекрасные труды по теории ядра, квантовой электродинамике, теории сверхпроводимости, теории лазеров, атомной физике.

В. М. Галицкий исключительно глубоко и ясно понимал основы теоретической физики. Лекции, которые он читал в МИФИ, охватывали все ее основные разделы и были высоким образцом того, как надо понимать и преподавать теоретическую физику.

Виктору Михайловичу была свойственна редкая способность входить в круг интересов работающих с ним ученых. Обладая этим качеством в сочетании с высоким педагогическим мастерством, он оказал решающее воздействие на формирование многих теоретиков, успешно работающих сейчас в самых разных областях физики.

Заслуги В. М. Галицкого перед советской наукой нашли признание в избрании его в 1976 г. членом-корреспондентом АН СССР, а в 1980 г. — членом бюро Отделения общей физики и астрономии АН СССР.

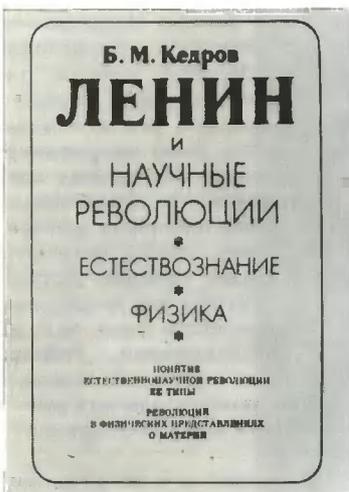
В течение 10 лет Виктор Михайлович был заместителем главного редактора журнала «Природа». К этой работе он относился со свойственными ему серьезностью и обстоятельностью; вся его деятельность на этом посту была направлена на укрепление авторитета «Природы» как академического издания в подлинном смысле слова. Особенное внимание уделял Виктор Михайлович тому, чтобы читатели журнала получали только точную, достоверную информацию, чтобы эта информация поступала своевременно и была полезна самой широкой аудитории. Работа Виктора Михайловича со многими авторами журнала часто становилась для них школой точного, ясного, логически безупречного мышления.

Редакционная коллегия и сотрудники журнала разделяют скорбь о безвременной кончине Виктора Михайловича Галицкого со всеми его родными, друзьями, товарищами по работе. Светлая память о нем навсегда сохранится в наших сердцах.

Редакционная коллегия

Ленинские идеи в современном анализе развития науки

П. В. Васильев
Москва



Б. М. Кедров. ЛЕНИН и НАУЧНЫЕ РЕВОЛЮЦИИ. Естествознание. Физика. М.: Наука, 1980, 464 с.

Сегодня, когда наука превращается в непосредственную производительную силу, знание законов ее собственного развития, законов движения всего ее фронта, в том числе циклической смены различных фаз развития науки — эволюционной и революционной, их взаимодействия, наконец, законов ее стыковки с производством становится абсолютно необходимым. Вот почему из года в год растет число книг, посвященных этим вопросам.

Рецензируемый труд академика Б. М. Кедрова занимает среди них особое место, ибо в нем рассмотрены взгляды В. И. Ленина на одну из важнейших фаз развития науки — революцию и на то воздействие, которое она оказала

на самые различные стороны общественного целого.

Исследование научных революций, подчеркивает Б. М. Кедров, имеет исключительное значение как для истории науки, так и для понимания современных проблем и перспектив ее развития. Книга стоит в ряду таких его произведений, как «Ленин и революция в естествознании XX века» (М., 1969), «Ленин и диалектика естествознания XX века» (М., 1971), «Марксистская концепция истории естествознания XIX века» (М., 1979). В новой книге рассмотрен ряд новых проблем, в том числе вопросы о типах научных революций, о месте каждой в общем ходе познания и т. д.

Типы научных революций, по мнению Б. М. Кедрова, определяются прежде всего характером тех препятствий, которые, возникая на пути познания, закреплялись на предшествующей его ступени и подлежат коренной, революционной ломке при переходе к следующей ступени: коперниковской (XVI—XVIII вв.), кантовской (вторая половина XVIII — XIX в.), новейшей (XX в.), НТРовской (вторая половина XX в.).

В целом все четыре типа революции «охватываются энгельсовой и ленинской формулами, гласящими, что путь познания истины, познания объективной реальности наука проходит, начиная от живого созерцания к абстрактному мышлению (первый этап революции), от низшей ступени абстрактного мышления — анализа — к более высокой его ступени — синтезу (второй тип революции), от синтеза, ограниченного рамками макромира, к полному синтезу, включающему охват микромира (третий тип революции), наконец, от абстрактного мышления к практике (четвертый тип революции)» (с. 147).

Вместе с тем существен-

ный интерес представляет и сравнительный анализ различных научных революций с точки зрения того, что общего в них содержится. При этом действовать следует весьма и весьма осторожно, чтобы не перешагнуть черту, отделяющую научное абстрагирование от пустого «усреднения» понятий, обычный результат которого — общие голые схемы, картины, «лишенные нового содержания» (с. 8). Своеобразие каждой революции в науке удается раскрыть лишь в том случае, если сосредоточить внимание на выяснении «во-первых, на какой ступени общего процесса познания природы произошла данная научная революция, так как каждая ступень накладывает свой особый отпечаток на содержание и характер совершенной в науке революции; во-вторых, в какой именно отрасли науки она совершилась, так как содержание научной революции во многом определяется тем, каков характер изучаемого предмета; в-третьих, какова связь исследуемой научной революции с социально-экономическими и идейно-политическими процессами, которые происходили в данную эпоху, в данной стране и которые так или иначе оказали свое влияние на революцию в науке; в-четвертых, какова зависимость между той отраслью, которая подверглась революционной ломке, и уровнем и характером развития техники и промышленности, их запросами и потребностями; наконец, в-пятых, историка интересуют деятели науки, совершившие революцию, их творческая лаборатория» (с. 7).

Революция в науке, показывает Б. М. Кедров, — это всегда фокусировка некоторого многообразия проблем и противоречий в одну теоретическую точку, где происходит коренное преобразование всего ранее созданного и рождается новое теоретическое единство. Революция превращает тем самым

многообразии противоречия друг другу понятий и теорий в теоретическое единое. Эволюция выполняет противоположную работу. Она разворачивает единую теорию в многообразии неизбежно все более противоречащих друг другу понятий и теорий. И развивает каждое из них до пределов, разрешенных их относительной самостоятельностью. Дойдя до таких пределов, исторически подвижных и изменяемых, наука снова как бы возвращается к исходу, к тому, с чего она начинала, — к единству.

Понятие «научная революция» автор анализирует в русле движения от абстрактного к конкретному. В итоге сформулированное и определенное в общем виде в первой части книги, оно наполняется богатым содержанием, в том числе сугубо физического и химического характера, — во второй ее части. Здесь вопрос о научной революции разбирается применительно к физическим представлениям о материи, применительно к фундаментальной проблеме физики и всего естествознания — «проблеме материи и движения в их соотношении между собой, которая конкретизируется в физике прежде всего как проблема соотношения между массой и энергией, а также как сопряженная с ней проблема взаимосвязи между веществом и светом как двумя основными физическими видами материи» (с. 8).

До недавнего времени усилия естествоиспытателей были направлены, в первую очередь, на изучение двух основных физических видов материи — вещества и поля (света), — отмечает Б. М. Кедров (с. 454—455). Причем долго оба момента «М» и «Е» изучались изолированно друг от друга и даже при определенной конкуренции. Последнее обстоятельство хорошо иллюстрирует воспроизведенная в книге история отношений двух полярных теорий света — волновой и корпускулярной. Преодолеть их односторонность, установить существование сопряженной связи между ними, а тем самым и связи между самими фундаментальными моментами объективной реальности — «М» и «Е»,

взаимопереход между веществом и светом удалось лишь в XX веке (закон эквивалентности А. Эйнштейна). Это и явилось, пишет Б. М. Кедров, важнейшим содержанием новейшей революции в естествознании.

Нарисованная Б. М. Кедровым картина подталкивает к размышлениям о судьбе науки. И тогда вспоминается одна из величайших и до сих пор, пожалуй, менее всего оцененных ленинских гипотез — гипотеза о фундаментальном характере отражения — «И». «В фундаменте самого здания материи можно лишь предполагать существование способности, схожей с ощущением»¹.

Фундаментальные параметры, как известно, несводимы друг к другу. Отсюда и происходит их название. Их различные взаимодействия исчерпывают собой все процессы и структуры мира.

Если предположить, что функция «И» (во всех ее эволюционных формах) состоит в том, чтобы придать преобразованиям «М» и «Е» направленный, «целесообразный» характер, то исследование взаимодействия «М», «Е» и «И» раскроет до сих пор не раскрытый, один из самых главных секретов всего мироздания — его способность развиваться, усложняться, увеличивать свою энтропию. Это и составит, на мой взгляд, содержание грядущего переворота в науке, позволит синтезировать естествознание и обществоведение.

Рассматривая узловые вопросы истории науки, Б. М. Кедров неизбежно высказывает — и это делает книгу особенно притягательной — оригинальные, дискуссионные суждения. Именно таким представляется мне его суждение, что в ходе развития новейшей революции в естествознании, а вместе с тем и НТР, произойдет «еще более полная потеря микрообразователями материи своей индивидуальности и самостоятельности своего существования» (с. 147); что «возможен в принципе отказ от...

традиционного связывания характера физических свойств микрообразований материи с обязательной структурной дискретностью самой материи, т. е. с расчленением материи на отдельные микрочастицы того или иного рода в качестве непреходящих носителей соответствующих физических свойств» (с. 147). Думаю, не все согласятся с этим прогнозом. Дискретность есть всеобщая характеристика реальности и полярная непрерывности. Эта пара категорий связана со всем строем категорий диалектики и, в первую очередь, с категориями «качество — количество». Такие категории носят, как известно, всеобщий и, конечно, фундаментальный характер. Стало быть, никакая будущая революция не сможет и не должна перечеркнуть тех характеристик реальности, которые они выражают. Но она может и должна найти специальные формы и способы их существования и осуществления.

Представляется, что идея именно по этому, второму пути современной физика в наши дни сделала новый, принципиально важный шаг в изучении природы — открыла массу покоя нейтрино. В результате начали проясняться многие «темные» стороны строения космоса, стали возможны рациональные формулы его вещественно-энергетических балансов, существенно иначе предстает перед нами его прошлое, настоящее, будущее.

Масса нейтрино была «подказана» современной физике предельно абстрактными философскими понятиями — категориями материи, того, что во все времена является субстратом движения, и, конечно же, категориями дискретного, качества, индивидуального, многообразного и т. п. Таким образом, в данном случае наука сделала большой шаг вперед как раз в силу того, что она сосредоточила свое внимание на индивидуальности, дискретности и т. д. изучаемого объекта. Такая линия и в прошлом периодически увенчивалась блестящими успехами, в том числе — и прежде всего — рождением самих отдельных наук, всецело обязанных выявлению

¹ Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 18, с. 40.

индивидуальности изучаемого предмета.

Но не менее верно и обратное суждение: науке удается сформулировать свои законы не раньше, чем она действительно освобождается если не от дискретности, то от индивидуальности, т. е. от чего-то самостоятельного, самодвижущегося и т. п. Такова во многом математика, статистическая физика и т. д.

Таким образом, науке в ее движении приходится решать одновременно прямо противоположные задачи — и отталкиваться от индивидуальности изучаемого предмета, и воспроизводить эту индивидуальность. Если в этом ключе поставить поднятый Б. М. Кедровым вопрос о соотношении дискретного и непрерывного, индивидуального и статистически среднего, массового, то, думается, он способен открыть замки многих тайн современного научного знания.

Я остановился лишь на некоторых моментах книги. Но и они позволяют заключить, что она представляет собой цельное и глубокое теоретическое исследование, в ней много по-настоящему интересных страниц. Это страницы о ленинском предвидении неисчерпаемости электрона и вообще бесконечности материи; и страницы о ленинской идее о последовательных ступенях или вехах познания материи; и страницы о ленинской идее о материальных носителях различных свойств природных тел; наконец, это страницы о ленинской идее о социологических аспектах процесса познания. «Ленинские прогнозы и их блестящее оправдание в ходе развития естествознания за последние десятилетия свидетельствуют, — подытоживает академик Б. М. Кедров, — о гениальной прозорливости того, кто их делал, и о неисчерпаемой силе и мощи диалектического метода, на который Ленин всегда опирался» (с. 379).

Рассказать о каждой из этих страниц — значит писать еще одну книгу. Цель же рецензии куда скромнее — книгу представить. Прочтите ее, дорогой читатель: эта книга учит мыслить.

Молодость науки

Н. С. Слепцов,

кандидат экономических наук
Заместитель заведующего отделом
научной молодежи ЦК ВЛКСМ



Ленин. Наука. Молодежь. Составители И. Ф. Зенкевич, И. А. Зудов, Г. Д. Комков, Е. С. Лихтенштейн. М.: Наука, 1980, 496 с.

Книга «Ленин. Наука. Молодежь», подготовленная Академией наук СССР и ЦК ВЛКСМ, посвящена 60-летию исторической речи В. И. Ленина на III съезде Всероссийского Коммунистического Союза Молодежи.

Интересна история создания этого сборника. В 1936 г. ЦК ВЛКСМ издал книгу «Поколение победителей», посвященную X съезду ВЛКСМ. Для нее написал свое знаменитое «Письмо к молодежи» академик И. П. Павлов. В ней были опубликованы обращения к молодежи академиков А. Н. Баха и Н. Д. Зелинского. К 40-летию ВЛКСМ, в 1958 г., Академия наук СССР и ЦК ВЛКСМ подготовили сборник «Наука и молодежь». Близкий к предыдущему по замыслу, он вновь включал в себя обращения к молодежи И. П. Павлова, А. Н. Баха, Н. Д. Зелинского, а также письма, статьи, речи, посвященные комсо-

молу, молодежи виднейших ученых 30—50-х годов: С. И. Вавилова, В. Р. Вильямса, А. Ф. Иоффе, К. И. Скрябина и многих других.

Редакционная коллегия нового сборника «Ленин. Наука. Молодежь» стремилась к тому, чтобы настоящая книга в концентрированном виде впитала в себя все самое ценное из предшествующего опыта. Книгу открывают историческая речь В. И. Ленина «Задачи союзов молодежи», выступление Л. И. Брежнева на Всесоюзном слете студентов 19 октября 1971 г. «Учиться, работать и бороться по Ленину» и его речь на XVIII съезде ВЛКСМ 25 апреля 1978 г.

Раздел «Научная стратегия Октября и молодежь» раскрывает многостороннюю работу комсомола, молодежи, советских ученых по выполнению ленинских заветов. В разделе «Знать — значит победить» помещены выступления ученых, опубликованные ранее в сборниках «Поколение победителей» и «Наука и молодежь», ставших уже библиографической редкостью. К молодому поколению обращены статьи, выступления, речи наших крупнейших современных ученых, руководителей советской науки, объединенные под общим заголовком «Новые горизонты науки».

Особое место в книге занимает раздел «Этюды о советских ученых», принадлежащие перу научных работников и журналистов. Они в сжатой форме рассказывают о «жизни и деятельности тех ученых, которых нет среди авторов этого сборника, но без чьих имен невозможно представить себе вершины советской науки» (с. 61).

Содружество комсомола и науки — давняя и добрая традиция. Задачи построения социалистического общества требовали от науки быстрых, ответственных и смелых решений, закономерно выдавали в первые ее ряды талантливую, вдохновенную великими целями молодежь. Приветствуя молодую смену научной интеллигенции, А. Н. Бах говорил на проходившей в апреле 1934 г. конференции молодых ученых: «Я с гордостью

смотрю, как из народа растет и крепнет молодая научная сила, которая продолжает с успехом нашу работу».

По призыву партии VIII съезд ВЛКСМ объявил «поход молодежи в науку». Около 2 млн юношей и девушек получили в 20—30-е годы высшее и среднее образование и влились в ряды ученых, специалистов всех областей народного хозяйства. В эти годы добились своих первых результатов тогда еще совсем молодые, но впоследствии выдающиеся советские ученые С. П. Королев, И. В. Курчатов, А. П. Александров, Н. Н. Семенов и многие другие.

С активным участием молодежи связано решение целого ряда жизненно важных для нашей страны научно-технических проблем. В книге приводится выступление президента Академии наук СССР А. П. Александрова на XVIII съезде комсомола. Он специально отмечал, обращаясь к делегатам съезда, что важнейшая проблема создания атомной техники была бы невозможна, если бы И. В. Курчатов и его соратники не привлекли к решению этой задачи молодежь.

И сегодня Ленинский комсомол активно участвует в формировании молодых научных кадров, в борьбе за ускорение научно-технического прогресса, добивается быстрого внедрения в производство достижений науки и техники.

Нет такого участка общественной жизни, где бы научно-техническая молодежь активно не проявляла себя. Это в равной степени относится как к работе по развитию ведущих направлений научно-технического прогресса, повышению эффективности и качества работы на всех участках коммунистического строительства, так и к участию молодых ученых и специалистов в управлении государственными и общественными делами, в решении политических, хозяйственных и социально-культурных вопросов, в организации воспитательной работы среди других групп советской молодежи.

Со страниц книги к молодежи обращаются люди, выб-

равшие себе нелегкую судьбу — служение науке. Выступление каждого из них пронизывает забота о научной смене, о тех, кому в будущем предстоит решать все более сложные и ответственные задачи, возлагаемые на науку. Какими качествами должен обладать ученый, что знать и уметь, как совершенствовать свои знания? На эти и многие другие жизненно важные для деятельности ученого вопросы найдет в книге ответ и молодой исследователь, и руководитель научного коллектива.

«Помните, что наука требует от человека всей его жизни» — эти слова из «Письма к молодежи» великого физиолога И. П. Павлова должны знать каждый молодой человек, собирающийся посвятить себя научной деятельности. И другие ученые, обращаясь к молодежи, не упрощают процесса познания нового, говорят о науке как о тяжелом труде — труде, требующем напряжения всех сил и возможностей.

Вместе с тем ученые старшего поколения отмечают, что сегодня, в зрелом социалистическом обществе, советская наука располагает всем необходимым для плодотворной творческой деятельности. Наше общество делает все для того, чтобы создать максимально благоприятные условия для успешного вовлечения молодежи в научно-исследовательскую работу. На помощь ученому пришли электронно-вычислительные машины, точные приборы, сложное и подчас весьма дорогостоящее оборудование. Сложилась первоклассная научная коллективы. Но все это не может ограничить науку, а следовательно, молодых ученых от трудностей, противоречий, подчас весьма острых. Порой бывает трудно убедить в своей правоте коллег, преодолеть инерцию старых знаний, нападки скептиков. Именно в этих условиях, отмечается в книге, должны в полной мере проявиться глубина знаний, уверенность в правоте, смелость и последовательность в отстаивании своих идей.

Неотъемлемая черта советской науки — стремление активно способствовать быстрейшему внедрению новейших до-

стижений в жизнь. Эта сторона деятельности ученых также показана всесторонне и основательно. Относится ли это к теоретическим разработкам физиков и биологов или к созданию новых конструкций машин, выведению более совершенных сортов сельскохозяйственных растений. Не оставляют равнодушными, побуждают к действию проблемы внедрения, поставленные в статьях академиков Г. И. Марчука, Б. С. Патона, В. Н. Ремесло, А. И. Целикова и многих других.

Книга еще раз убедительно опровергает многочисленные измышления наших идеинных противников об автономии науки. Вся жизнь авторов и героев книги, их успехи и достижения связаны с борьбой за построение социалистического и коммунистического общества. Показано почетное место научной интеллигенции, высокая степень ее участия в общенародных делах.

Ценной стороной рецензируемой книги является то, что она рисует коллективный портрет советского ученого, человека, горячо интересующегося всеми насущными вопросами, стоящими перед партией, перед страной. Его глубоко волнуют не только проблемы развития своей или смежных отраслей науки, но и вся система воспитания и образования молодежи, подготовки ее к профессиональной деятельности. Не жалея времени и сил он работает со школьниками и студентами, ведет кропотливый отбор талантливых молодых людей, стремится всеми силами способствовать широкому распространению достижений науки и техники, участвует в охране и приумножении богатств природной среды.

Устремленность в будущее, самоотверженность — черты, присущие ученым старшего поколения и нашим молодым современникам. Все это хорошо показано на страницах рецензируемой книги. Сборник «Ленин. Наука. Молодежь» вносит весомый вклад в летопись славных свершений советской молодежи по выполнению ленинских заветов учиться коммунизму, быть активным строителем коммунизма.

Исторические корни советско-американских научных связей

Г. К. Цверева
Бокситогорск

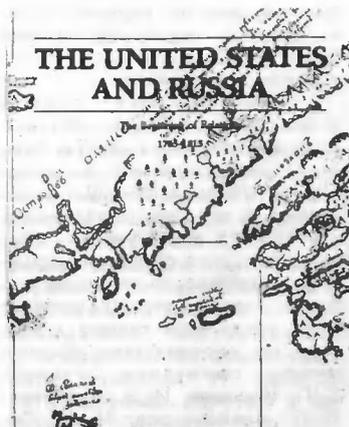
На моем столе внушительный фолиант — «первое фундаментальное собрание документов по истории русско-американских отношений второй половины XVIII — начала XIX в.» (с. 9). Это издание, представляющее собой итог совместных изысканий советских и американских исследователей, выпущено одновременно на русском и английском языках в Москве и Вашингтоне. Оно осуществлено в рамках соглашения между СССР и США о контактах, обменах и сотрудничестве, подписанного в 1973 г. Советскую часть редколлекции сборника возглавил С. Л. Тихвинский (Историко-дипломатическое управление МИД СССР), американскую — Д. Ф. Траск (Исторический отдел государственного департамента США).

Знаменательно, что книга открывается документами, имеющими непосредственное отношение к Б. Франклину и М. В. Ломоносову и свидетельствующими о стремлении американских ученых наладить связи с их русскими коллегами. А сам факт реализации рецензируемого здесь издания говорит о развитии и укреплении этих традиций в наши дни. Беречь их и умножать в интересах развития науки, дружбы и взаимопонимания народов, несмотря ни на какие искусственно создаваемые препятствия, — задача нашего поколения. С этих позиций нам и хотелось бы рассмотреть рецензируемый сборник.

В книге опубликовано 560 документов, многие из них печатаются впервые. Это дипломатические донесения, рескрипты, официальные и частные письма, путевые очерки, инструкции и другие бумаги, имеющие касательство ко всей совокупности взаимоотношений



РОССИЯ И США: СТАНОВЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЙ. 1765—1815. М.: Наука, 1980, 752 с.



The United States and Russia. The Beginning of Relations. 1765—1815. Washington, 1980, 752 p.

между Россией и Соединенными Штатами Америки в 1765—1815 гг.¹ Использованы материалы из 15 советских и 37 американских архивохранилищ и частных собраний, а также из ряда печатных изданий.

Чтобы судить о степени развития, которой достигли русско-американские отношения к концу рассматриваемого периода, достаточно сослаться на письмо из Петербурга от 10 июля 1811 г. американского посланника Дж. К. Адамса своему брату: «С тех пор как мы здесь поселились, — сообщал он в частности, — сюда без конца приезжают американцы; мы живем в окружении соотечественников и чувствуем себя почти так же, как если бы были дома. Позапрошлую зиму 16 американских судов зимовало в Кронштадте и несколько в Архангельске. За про-

шое лето в русских портах перебивало более 150 судов. Более 30 провели в них прошлую зиму, а 63 уже прибыли этим летом в Кронштадт и еще 20 или 30 — в Архангельск и Ригу» (с. 473). Ниже я коснусь лишь естественнонаучного аспекта книги, оставляя в стороне дипломатию, торговлю, искусство, военные события, дела Российско-американской компании.

Незримая «республика наук» (la republique des lettres), для которой не были преградой ни государственные границы, ни даже сами войны², продолжала давать о себе знать и во второй половине XVIII в. Подтверждением жизнестойко-

¹ Последующий период рассмотрен, например, в монографии: Болховитин Н. Н. Русско-американские отношения 1815—1832 гг. М.: Наука, 1975. См. рецензию на это издание: Цверева Г. К. У истоков научных контактов СССР и США. — Природа, 1976, № 3, с. 147

² Например, в августе 1788 г. в разгар очередной русско-шведской войны командующий шведским флотом герцог Зюдерманландский направил в Кронштадт парламентария и передал с ним российскому адмиралу С. К. Грейгу перехваченный шведами пакет, адресованный Б. Франклином директору Петербургской Академии наук Е. Р. Дашковой (см.: Записки княгини Е. Р. Дашковой, писанные ею самой. Лондон, 1859, с. 227, 382).

сти и действительности этого неформального сообщества ученых разных стран могут служить как раз начальные эпизоды русско-американских научных контактов, которые возникли до Американской революции и на много лет опередили обмен дипломатическими представителями между Россией и молодой заокеанской республикой. И в самом деле, свод документов, напечатанных в сборнике в хронологическом порядке, открывается письмом от 20 февраля 1765 г. американского естествоиспытателя Э. Стайлса, посланного через посредство находящегося в Лондоне Б. Франклина М. В. Ломоносову. В письме поддерживается идея русского ученого о плавании из России в Америку через «покрытые льдом моря» и запрашиваются некоторые метеорологические сведения (с. 15—18). Символично, что на суперобложке и форзацах книги воспроизведен фрагмент «Карты новооткрытых американских островов» (Алеутских островов), составленной в 1775 г. в Охотске Т. И. Шмалевым на основании данных, полученных экспедицией П. К. Креницына и М. Д. Левашова в 1768—1769 гг.

Документы показывают, что русско-американское научное сближение шло от переписки ученых обеих стран к установлению контактов на уровне научных учреждений — Петербургской Академии наук, Вольного экономического общества, Московского общества испытателей природы, с одной стороны, и Американского философского общества, Американской академии искусств и наук — с другой. В 1773 г. первым российским почетным членом упомянутого американского общества был избран один из основателей и президент Вольного экономического общества Т. И. Клингштедт, спустя 6 лет — Е. Р. Дашкова. 1 июня 1781 г., т. е. через несколько месяцев после своего основания, Академия искусств и наук в Бостоне избрала иностранным членом Л. Эйлера. Почетным членом Петербургской Академии наук с 1789 г. был Б. Франклин, с 1795 г. — физик-магнитолог Дж. Черчман. Между учеными корпорациями и отдельными ли-

цами практиковались обмена печатной продукцией, минералогическими коллекциями, семенами. Особый интерес американцы проявляли к «Сравнительному словарю всех языков и наречий» П. С. Палласа. Работа эта, начатая по инициативе Екатерины II, не поступала в свободную продажу, и американскому консулу в Петербурге Л. Гаррису с большим трудом удалось раздобыть ее и в 1806 г. послать непосредственно президенту США Т. Джефферсону, который внимательно следил за достижениями русских ученых.

В сборнике уделено достаточно места восприятию в России учения Франклина об электричестве. Известно, что наиболее авторитетным сторонником унитарной концепции электричества, и не только в России, был петербургский академик Ф. У. Т. Эпинус, который в изданном в 1759 г. фундаментальном труде «Теория электричества и магнетизма» развил учение об электричестве и сделал первую попытку его математизации. Приведено сравнительно недавно обнаруженное письмо Франклина Эпинусу от 6 июля 1766 г., в котором филаделфийский физик сообщает, что прочитал с «бесконечным удовлетворением и удовольствием» названный трактат (с. 21). Хотелось бы добавить, что Франклин еще в 1759 г. с похвалой отозвался о более ранней работе Эпинуса о пироэлектрических явлениях в турмалине.

Среди русских последователей унитарной теории электричества, а их было не так много, выделяется Д. А. Голицын, дипломат, первый русский физиоикрат, естествоиспытатель, труды которого в области физики и минералогии прямо-таки вызывают к их изучению. Составители ввели в научный оборот полностью его письмо от 28 января 1777 г., пересланное из Гааги в Париж Франклину, приехавшему туда месяцем ранее в качестве представителя Континентального конгресса. В этом письме, являющемся по существу научной статьей, Голицын, опираясь на свои опыты с электрофором, высказывает мнение о решающей роли

электростатического поля в наблюдаемых им явлениях. Затем он рассуждает о действии молниеотводов и при этом ближе, чем кто-либо из его современников, подходит к современным воззрениям на грозозащиту. Голицын считал, что молниеотвод, имея большую высоту, принимает на себя развивающуюся молнию, и тем самым отрицал господствовавшее в его время представление о превентивном, отсасывающем «грозовую материю», действии заземленных высоких стержней (с. 38—39).

С неослабевающим вниманием читаются впервые опубликованные дневники и письма с дороги, принадлежащие перу путешествовавших в России американцев, а также причастные к этим поездкам официальные документы. Дж. Ледиард был, видимо, первым гражданином США, совершившим познавательное путешествие по России (в 1787—1788 гг.) — от Петербурга до Якутска. Маршруты Дж. Смита в 1802—1804 гг. и изучившего русский язык Дж. Пойнсета в 1806—1808 гг. пролегли по европейской части нашей страны вплоть до Закавказья — Дербента, Баку, Тифлиса. Пойнсет описал бакинские «источники нефти». В 1807 г. по Сибири — путешествовал Дж. Д'Вулф. Рецензируемая книга помещены также материалы о первых русских путешествиях по Штатам — Ф. В. Каржавина в 1777—1779 гг. и Ю. Ф. Лисянского в 1795—1796 гг.

Книга щедро иллюстрирована портретами большинства «действующих лиц», репродукциями картин, факсимиле документов. Хороши американские акварели из Музея искусств Метрополитен, принадлежащие кисти переводчика российской миссии в Вашингтоне П. П. Свинына (1787—1839). Полиграфия издания безупречна. Тщательно продуманный справочный аппарат (подстрочные примечания, библиография, указатели имен и географических названий, перечень рисунков с пояснениями, карты и схемы), который сам по себе достоин специального рассмотрения, во многом облегчает чтение книги и может служить образцом для аналогичных изданий.

Физика

И. Ш. Слободетский, Л. Г. Асламазов. ЗАДАЧИ ПО ФИЗИКЕ. М.: Наука, Гл. ред. физико-математической литературы, сер. «Библиотечка «Квант», вып. 5, 1980, 176 с., ц. 30 к.

В 1980 г. на базе журнала «Квант» начала издаваться новая серия популярных книг по физике и математике «Библиотечка «Квант». Среди инициаторов ее создания был трагически погибший Иосиф Шваевич Слободетский, один из авторов представляемой здесь книги. При его участии (он был ученым секретарем серии) вышли первые выпуски «Библиотечки «Квант»: М. П. Бронштейн. Атомы и электроны (вып. 1); М. Фарадей. История свечи (вып. 2); О. Оре. Приглашение в теорию чисел (вып. 3); Опыты в домашней лаборатории (вып. 4).

Пятый выпуск «Библиотечки «Квант» — это сборник задач для школьников по следующим разделам физики: механика, теплота и молекулярная физика, электромагнетизм, колебания и волны, оптика. Он отличается от многих других «задачников» тем, что в нем собраны задачи, в которых идет речь не об идеализированных телах и упрощенных системах, а о реальных и интересных вещах. Это непростые задачи, хотя звучат они незамысловато, например: может ли спортсмен на водных лыжах двигаться быстрее катера? почему измерение температуры тела продолжается долго, а страхнуть термометр можно моментальной? почему днем окна домов кажутся темными? отчего на поверхности водоема возникает лунная дорожка?

Решение таких задач часто предполагает необходимость маленького самостоятельного исследования.

Физика

В. Л. Боууля. ЯДЕРНЫЙ ШТУРМ. М.: Московский рабочий, 1980, 191 с., ц. 45 к.

В этой художественно-документальной повести рассказывается о серии экспериментов, проведенных физиками И. В. Курчатовым, Л. А. Арцимовичем, А. И. Алихановым, Г. Н. Флеровым и другими с целью овладения атомной энергией. Главным местом действия является Ленинградский физико-технический институт. Автор приводит документы и свидетельства очевидцев, показывающие, как в тяжелых военных условиях, при постоянной нехватке средств для экспериментов ученые приступили к широкому комплексу урановых исследований, проводившихся сначала в оборонных, затем в мирных целях, знакомит с событиями, связанными с пуском первой атомной электростанции, с исследованиями плазмы.

Биология

Animal Genetics and Evolution. Edited by N. N. Vorontsov and J. M. van Brink. The Hague: Dr W. Junk B. V. Publishers, 1980, 393 p., 99¢

ГЕНЕТИКА ЖИВОТНЫХ И ЭВОЛЮЦИЯ. Избранные труды XIV Международного генетического конгресса — Москва 21—30 августа 1978 г. Под ред. Н. Н. Воронцова и Я. М. ван Бринк. Гаага: Изд-во В. Юнка, 393 с., ц. 99 амер. долл.)

В «Избранные труды» Московского генетического конгресса включено 40 статей ведущих генетиков и эволюционистов 14 стран. Среди авторов опубликованных докладов — виднейшие зарубежные и советские генетики.

Авторов издания объединяет сложившееся к концу конгресса общее мнение, что современное, очень быстрое развитие популяционной и сравнительной генетики во многом меняет те классические концепции, которые сформировались в период, когда генетики работали с ограниченным числом модельных объектов.

Статьи, вошедшие в «Избранные труды», посвящены проблемам популяционной, эволюционной и сравнительной генетики широкого круга объектов — от излюбленной дрозофилы и многих других групп насекомых до диких и домашних млекопитающих. Как отмечают в предисловии редакторы, мы становимся свидетелями рождения новой дисциплины — сравнительной генетики. Подобно тому как возникшая в прошлом веке сравнительная анатомия была не просто суммой множества нормальных анатомий отдельных объектов, а неким их интегралом, так и возникающая на наших глазах сравнительная генетика, используя материалы частных генетик отдельных объектов, становится чем-то большим, чем сумма этих частных генетик — возникает новая методология. Составляя строение и функции генетических систем у таксонов надвидового уровня, сравнительная генетика уже не может использовать методы скрещивания в качестве основного приема. В отличие от популяционной генетики, здесь используются иные приемы и подходы, многие из которых представлены в этом томе. Объектом исследования сравнительной генетики являются эволюция самих генетических систем, эволюция кодовых структур, молекулярная эволюция, эволюция агрегаций генов-хромосом, эво-

люция всего генетического аппарата — генома.

Книга показывает современный уровень развития сравнительной и популяционной генетики, в ней затрагиваются не только эволюционные аспекты проблемы, но проблемы биологии развития, роль трансформаций хромосом в онто- и филогенезе, роль регуляторных генов в эволюции, представлена общая модель эволюции кариотипа, дан сравнительный анализ молекулярной организации генома у ряда позвоночных в сопоставлении с результатами изучения их хромосом.

Биология

Л. С. Белоусова, Л. В. Денисова, С. В. Никитина. РЕДКИЕ РАСТЕНИЯ СССР. Справочник. М.: Лесная промышленность, 1979, 216 с., ц. 4 р. 20 к.

Расширение хозяйственной деятельности оказывает отрицательное влияние на состояние дикорастущих растений: запасы их сокращаются, а некоторые виды исчезают совсем. Особенно пагубное воздействие на растения оказывают изменение, а подчас и полное разрушение мест их обитания. В связи с этим большое значение приобрела проблема сохранения генофонда дикорастущих растений. Так как наиболее уязвимыми являются редкие растения, которые встречаются в ограниченном количестве и имеют узкий ареал, важно сохранить как можно больше мест произрастания вида в различных частях ареала.

Авторы справочника — сотрудники Всесоюзного научно-исследовательского института охраны природы и заповедного дела — собрали сведения о 444 видах редких и находящихся под угрозой исчезновения растений. По каждому виду приводятся данные о его современном распространении, запасах и рекомендации по их охране. В приложении дан перечень 62 видов растений, подлежащих строгой охране на территории СССР. Книга хорошо иллюстрирована рисунками и схемами.

Палеонтология

И. А. Ефремов. ДОРОГА ВЕТРОВ (Гобийские заметки). М.: Молодая гвардия, 1980, 416 с., ц. 1 р. 90 к.

Сама эта книга — уже история. Она была впервые издана в 1956 г., но до сих пор не потеряла своего значения. Ее автор — известный ученый и писатель-фантаст — дал в ней красочные описания пейзажей, быта и обычаев современных монголов, показал будни палеонтологической экспедиции, работавшей под его руководством в полупустыне Гоби (южная часть Монголии) в 1946, 1948 и 1949 гг. Экспедиция открыла местонахождение исполинских динозавров и древнейших млекопитающих, извлекла из отложений древней азиатской суши целые скелеты хищных, растительноядных, утконосых и панцирных динозавров, крокодилов, исполинских черепах, открыла залежи ископаемых деревьев. Некоторые скелеты животных были выставлены впоследствии в Палеонтологическом музее в Москве, другие — в Улан-Баторе.

В конце юрского периода в южной части Монголии был тропический влажный климат и произрастала богатая растительность. Проведенный анализ захоронений динозавров показал, что каждому из их разновидностей соответствовала своя особая зона обитания. Сравнение остатков флоры и фауны в отложениях юрского периода позволило определить последовательность и условия отложений горных пород на Азиатском материке.

В книге приведена справка-словарь специальных геологических терминов, технических наименований и монгольских названий. В фотоальбоме представлены находки экспедиции.

Охрана природы

П. Г. Олдак. СОХРАНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И РАЗВИТИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ. Отв. ред. И. П. Суслов. Новосибирск: Наука, 1980, 160 с., ц. 30 к.

Обострение проблемы «человек и биосфера» привело

к развитию двух новых направлений в экономических исследованиях. Это, во-первых, анализ интегральных, комплексных задач управления экономикой с учетом необходимости увязывать экономический рост и сохранение окружающей среды; во-вторых, пересмотр и дополнение критериев для выбора экономических решений, с особым вниманием к системе стоимостных измерений и закону стоимости. В книге П. Г. Олдака рассматриваются вопросы стоимостных измерений применительно к социалистической экономике с учетом дефицитности природных ресурсов.

Книга содержит свежий, основанный на реальных фактах подход к очень трудным и важным проблемам рационального использования природных ресурсов. Некоторые положения автора следует, по мнению редактора книги, рассматривать как постановку вопроса в порядке обсуждения. По-видимому, это обсуждение высокоактуально на современном этапе экономических исследований, одной из тенденций которых является переход от изучения «чисто» экономических процессов к теории управления биосоциальными системами.

Книга является логическим продолжением предыдущей работы того же автора «Современное производство и окружающая среда» (М., 1979) и представляет интерес для исследователей и студентов, специализирующихся в области проблем окружающей среды.

Медицина

Катана Золтан. ЭЛЕКТРОНИКА В МЕДИЦИНЕ. Пер. с венг. В. Г. Гусева. Под ред. М. К. Размахина. М.: Советское радио, 1980, 144 с., ц. 70 к.

Понятие медицинской электроники охватывает процессы, методы и средства, в которых для лечения используются принципы электроники. В книге описаны современные медицинские приборы, используемые в клиниках и лабораториях при диагностике и лече-

нии сердца (фонокардиографы, синхронизированные дефибрилляторы, вживляемые и наружные электрокардиостимуляторы), глухоты (аудиометры, слуховые аппараты), желудка (телеметрический зонд, радиокапсулы) и др. Автор рассказывает об особой области электроники в медицине — телеметрии, или измерении работы внутренних органов человека, например сердца, на расстоянии.

При переводе книга дополнена описаниями советской медицинской аппаратуры (их авторы — А. С. Севостьянов, А. И. Васильев, В. С. Кашутов и И. И. Карташев).

Книга предназначена для широкого круга специалистов-медиков, биологов, инженеров-электронщиков.

История науки

А. И. Перельман. АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ САУКОВ (1902—1964). Отв. ред. В. И. Данчев. М.: Наука, Науч.-биограф. сер., 1980, 96 с., ц. 15 к.

Книга посвящена крупному советскому геохимику, лауреату Ленинской и Государственных премий, члену-корреспонденту АН СССР, профессору МГУ А. А. Саукову. А. И. Перельман — ученик и сотрудник Саукова — в течение многих лет постоянно общался со своим учителем, хорошо знал его научную и научно-организационную деятельность. Помимо научных трудов Саукова и личных воспоминаний о нем, автор использовал материалы архива ученого, воспоминания его близких, друзей и товарищей.

В книге рассказывается

о детстве Саукова, его учебе в Ленинградском политехническом институте, первых шагах в науке и наиболее подробно — о послевоенных годах, когда полностью раскрылись его многосторонние таланты. Читатель знакомится с Сауковым-исследователем, автором классических трудов по геохимии ртути и других элементов, с Сауковым — профессором МГУ, обязательным человеком. К достоинствам книги следует отнести то, что научная биография Саукова рисуется на фоне развития геохимии его времени. В книге приводится материал, характеризующий научную деятельность В. И. Вернадского, А. Е. Ферсмана, Д. И. Щербакова и других выдающихся советских ученых. Многочисленные фотографии, несомненно, оживляют книгу.

История науки

Д. Т. Урсул. НИКОЛАЙ ГАВРИЛОВИЧ МИЛЕСКУ СПАФАРИЙ. М.: Мысль, сер. «Мыслители прошлого», 1980, 189 с., ц. 25 к.

Книга посвящена личности Н. Г. Милеску Спафария (1635—1701) — философа, ученого, дипломата. Грек по происхождению, он родился в Молдавии, получил образование в Константинополе и Падуе, долго жил в России и как дипломат выполнял различные поручения в Швеции, Франции, Китае. Милеску Спафарий впитал дух различных национальных культур, став характерным и достойным выражением эпохи европейского Просвещения. В книге представлены перипетии не-

легкой судьбы Милеску Спафария: политические интриги при дворе молдавского господаря, унижительное телесное наказание за участие в оппозиции — «урезание носа», вынужденное бегство в Россию, работа в Посольском приказе, участие в Азовском походе Петра I. Охарактеризована также прогрессивная общественно-политическая деятельность Милеску Спафария и представлены его философские воззрения. Особое место уделено в книге анализу научных трудов ученого-просветителя, считавшего истину «началом всякой мудрости» и неустанно к истине стремившегося. Вскользь упомянуты компилятивные трактаты исторического и богословского характера, вероятно, не представляющие сейчас большого научного интереса. При этом высокая оценка дана оригинальным описаниям географии и этнографии Сибири, Монголии, Китая, составленным по личным наблюдениям во время поездки в Цинскую империю. «Такие труды Милеску Спафария, как «Дорожный дневник путешественника по Сибири», «Статейный список», «Описание Китая», «Описание Амура», — замечает Д. Т. Урсул, — свидетельствуют о ... широте географической мысли автора, его больших познаниях и способности к обобщению». Эти работы, по мнению автора книги, не утратили познавательного значения и доныне и явились ценным вкладом в историческую и географическую науку, подготовив в определенной степени возникновение и развитие русского востоковедения.

Художник П. Г. АБЕЛИН
Художественные редакторы:
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Корректоры:
Т. М. АФОНИНА, Т. Д. МИРЛИС

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

Сдано в набор 4.12.80
Подписано к печати 15.01.81
Т—02711
Формат бумаги 70×100 1/16.
Офсет
Усл.-печ. л. 10,4 Уч.-изд. л. 15,0

Бум. л. 4
Тираж 82 000 экз. Зак. 3080

Чеховский полиграфический комбинат Союзполиграфпрома Государственного комитета СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. г. Чехов, Московской области.



В экспериментах по исследованию хаотического поведения простых систем и турбулентных течений широко используются ЭВМ. На снимке показаны система вывода информации, получаемой при обработке результатов гидродинамического эксперимента, и изображение аттрактора на экране дисплея. См. в номере: Гапонов-Греков А. В., Рабинович М. И. Хаотическая динамика простых систем.

Фото Л. П. Львовой (Институт автоматизации и электрометрии СО АН СССР).

Цена 50 коп.
Индекс 70707

