

ISSN 0032-874X

# 7 ПРИРОДА

1982





## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор  
академик  
Н. Г. БАСОВ

И. о. заместителя главного редактора  
кандидат физико-математических наук  
А. И. АНТИПОВ

Доктор физико-математических наук  
Е. В. АРТУШКОВ

Академик  
Д. К. БЕЛЯЕВ

Член-корреспондент АН СССР  
Р. Г. БУТЕНКО

Доктор географических наук  
А. А. ВЕЛИЧКО

Член-корреспондент АН СССР  
В. А. ГОВЫРИН

Член-корреспондент АН СССР  
И. Р. ГРИГУЛЕВИЧ

Член-корреспондент АН СССР  
Г. А. ЗАВАРЗИН

Член-корреспондент АН СССР  
В. Т. ИВАНОВ

Доктор физико-математических наук  
Н. П. КАЛАШНИКОВ

Доктор физико-математических наук  
С. П. КАПИЦА

Академик  
Б. М. КЕДРОВ

Доктор физико-математических наук  
И. Ю. КОБЗАРЕВ

Кандидат физико-математических наук  
А. А. КОМАР

Академик  
Н. К. КОЧЕТКОВ

Доктор геолого-минералогических наук  
И. Н. КРЫЛОВ

Доктор философских наук  
Н. В. МАРКОВ

Доктор экономических наук  
В. А. МЕДВЕДЕВ

Ответственный секретарь  
В. М. ПОЛЫНИН

Доктор исторических наук  
П. И. ПУЧКОВ

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

Доктор философских наук  
Ю. В. САЧКОВ

Заместитель главного редактора  
доктор биологических наук  
А. К. СКВОРЦОВ

Академик АН УССР  
А. А. СОЗИНОВ

Академик  
В. Е. СОКОЛОВ

Доктор геолого-минералогических наук  
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора  
кандидат технических наук  
А. С. ФЕДОРОВ

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

Член-корреспондент АН СССР  
В. Е. ХАИН

Член-корреспондент АН СССР  
Р. Б. ХЕСИН

Доктор физико-математических наук  
А. М. ЧЕРЕПАЩУК

Доктор физико-математических наук  
В. А. ЧУЯНОВ

Академик  
В. А. ЭНГЕЛЬГАРДТ



— символ межправительственной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (The Man and the Biosphere). Этим символом обозначены материалы, которые журнал «Природа» публикует в рамках участия в деятельности этой программы.

**На первой странице обложки.** Кристаллы александрита, хризоберилла и берилата лантана, выращенные в Институте геологии и геофизики СО АН СССР. См. в номере: Колонин Г. Р., Птицын А. Б. Самоцветы рождаются в Новосибирске. Фото В. Н. Машатина.

**На четвертой странице обложки.** Весной кусты рододендрона сихотинского обильно покрываются цветками. См. в номере: Зорикова В. Т. Редкие рододендроны Приморья. Фото Ю. Т. Васьяковского

## В НОМЕРЕ

<b>К 40-ЛЕТИЮ СССР</b>		<b>АКАДЕМИЧЕСКАЯ НАУКА СИБИРИ</b>	
	<b>Коптюг В. А.</b>	Сибирской науке— четверть века	2
	<b>Жарков М. А., Мерзляков Г. А., Яншин А. Л.</b>	Открытие калийных солей в Сибири	6
	<b>Чириков Б. В.</b>	Нелинейные резонансы и динамическая стохастичность	15
	<b>Васильевский Р. С.</b>	Загадочные памятники Хоккайдо	26
	<b>Колонин Г. Р., Птицын А. Б.</b>	Самоцветы рождаются в Новосибирске	32
<hr/>			
<b>КРАСНАЯ КНИГА</b>	<b>Зорикова В. Т.</b>	Редкие рододендроны Приморья	43
	<b>Зотов И. А.</b>	Трансмагматические флюиды в геологии	48
	<b>Матвеев Л. И.</b>	Сверхдальняя радиоинтерферометрия	56
	<b>Иоффе Б. В., Исидоров В. А.</b>	Органические соединения в атмосфере Земли	68
		Из «Природы» 1912 года	67, 77
	<b>Иваницкий В. В.</b>	Этология: от «для чего?» к «почему?»	78
	<b>Филов В. А., Лютова К. В., Лебедев Д. В.</b>	Библиотека Академии наук СССР	87
	<b>Газенко О. Г., Гюрджиан А. А.</b>	У истоков космической биологии	94
	<b>Гаврюшин Н. К.</b>	Мир как целое. Н. Н. Страхов о развитии естествознания	100
<b>НОВОСТИ НАУКИ</b>			108
	<b>Александр Васильевич Сидоренко</b>		119
<b>КНИГИ, ЖУРНАЛЫ</b>	<b>Чуянов В. А.</b>	Сложность кажущейся простоты (120). <b>Огурцов А. П.</b>	120
		Новое направление историко-научных исследований (121)	
<b>НОВЫЕ КНИГИ</b>			124
<b>В КОНЦЕ НОМЕРА</b>	<b>Кедррв Б. М.</b>	Нешуточная пьеса в одном действии. Что такое химия, или чертова дюжина в издательском деле	127

# АКАДЕМИЧЕСКАЯ НАУКА СИБИРИ

## Сибирской науке — четверть века

Академик В. А. Коптюг,  
вице-президент Академии наук СССР,  
председатель Сибирского отделения АН СССР

В этом году исполнилось 25 лет со дня принятия Советом Министров СССР решения о создании Сибирского отделения Академии наук СССР.

Сибирь — это 10 млн км<sup>2</sup>, 40% площади всего Советского Союза, почти 3/4 разведанных запасов угля, нефти и газа страны, более половины потенциальных гидроэнергетических ресурсов, значительная доля общесоюзных запасов руд цветных металлов, около половины запасов промышленной древесины и воды, 20% пригодной для сельского хозяйства земли. Это многонациональное население.

Курс партии и советского государства на ускоренное развитие производительных сил Сибири потребовал создания крупного научного центра на Востоке страны, призванного всемерно развивать теоретические и экспериментальные исследования в области фундаментальных наук, активно содействовать прогрессу производительных сил. И такой центр был создан.

До 1957 г. Академия наук располагала здесь небольшими филиалами — Западно-Сибирским, Восточно-Сибирским, Якутским, Дальневосточным. Сотрудники филиалов много сделали для изучения природных богатств, развития производительных сил Сибири. Но они из-за ограниченности материальной базы и научных кадров не могли обеспечить должный размах исследований, что сдерживало освоение природных богатств огромного региона. Поэтому идея создания за Уралом научного центра, призванного обеспечить опережающее развитие в регионе фундаментальных и прикладных наук, высказанная в 1956 г. крупнейшими учеными нашей страны академиками М. А. Лаврентьевым, С. А. Христиановичем и С. Л. Соболевым, была активно поддержана Академией наук СССР, партией и правительством.

В новое Отделение вошли все филиалы АН СССР, существовавшие ранее на территории от Урала до Сахалина, были созданы новые институты. Сегодня Сибирское отделение АН СССР объединяет работу 50 научно-исследовательских институтов, расположенных в Новосибирске, Иркутске, Томске, Красноярске, Якутске, Улан-Удэ, Чите. Отделы и лаборатории институтов расположе-

ны и в других городах Сибири — Барнауле, Кемерово, Кызыле, Омске, Тюмени. На базе научных учреждений Сибирского отделения на Дальнем Востоке в 1970 г. создан новый научный центр Академии наук — Дальневосточный.

Главным делом Сибирского отделения, как и всей Академии наук СССР, является развитие фундаментальных исследований. Разумеется, в краткой заметке невозможно охарактеризовать даже небольшую часть достижений сибирских ученых за 25 лет существования отделения. Задачу отчасти облегчает то, что многие из полученных результатов нашли отражение в публикациях журнала «Природа»<sup>1</sup>. Перечислю лишь некоторые наиболее важные исследования ученых Отделения, обогатившие советскую и мировую науку.

Международное признание получили исследования сибирских математиков по квазиконформным отображениям, теории интегральных и дифференциальных уравнений, функциональному анализу, алгебре и математической логике, геометрии. Новосибирские физики впервые в мире реализовали идею встречных пучков для достижения высоких энергий взаимодействия элементарных частиц. Этот метод используется многими крупными центрами мира, изучающими физику элементарных частиц.

Физики Томска открыли явление взрывной эмиссии электронов и основали новое направление в силовоточной электронике.

Основополагающие результаты получены в области теории теплообмена, физической гидродинамики, динамики газоразрядной плазмы, лазерной физики и техники.

Выполнены фундаментальные исследования электрон-фотонных взаимодействий в твердых телах, которые содействовали формированию самостоятельных разделов физики — акустоэлектроники и акустооптики. Нельзя не упомянуть о работах ученых Красноярска по физике тонких магнитных пленок, по сверхсильным стационарным магнитным полям, по физике сегнетоэлектриков и радиоспектроскопии.

Принципиально новые результаты получены в прогнозировании каталитического действия и научных основ приготовления катализаторов. На базе Института катализа работает Координационный центр стран—участников СЭВ по промышленным катализаторам. Деловые связи поддерживаются с учеными США, Бельгии, Франции, Японии. Не случайно Институту катализа присуждена международная премия за укрепление мира и развитие сотрудничества «Золотой Меркурий». Химики Сибирского отделения открыто и развивается новое научное направление — влияние магнитных полей на химические реакции.

---

<sup>1</sup> О некоторых работах сибирских ученых рассказывается в статьях этого номера. См.: Жарков М. А., Мерзляков Г. А., Яншин А. Л. Открытие калийных солей Сибири; Чириков Б. В. Нелинейные резонансы и динамическая стохастичность; Васильевский Р. С. Загадочные памятники Хоккайдо; Колонин Г. Р., Птицын А. Б. Самоцветы рождаются в Новосибирске.

Широкий диапазон исследований сибирских биологов — от молекулярно-генетических основ жизни до закономерностей развития экосистем и создания новых продуктивных пород животных и сортов сельскохозяйственных растений. Методом радиационного мутагенеза выведен сорт пшеницы «Новосибирская-67», широко районированный в Западной Сибири и Северном Казахстане. Сделаны первые шаги в использовании богатого генетического фонда диких животных Сибири.

Большинство работ, о которых шла речь, относятся к фундаментальным исследованиям, которые, как правило, не привязаны к определенному региону. Однако можно назвать немало фундаментальных исследований Отделения, которые отражают региональные особенности и интересы. Так, в Якутском филиале исследуются потоки космических частиц, их взаимодействие с магнитным полем Земли, с верхними слоями атмосферы. Почему эти исследования проводятся именно в Якутске? Потому что многие космофизические явления протекают в высоких широтах более ярко и потому что в этом районе особенно сильно их влияние на радиосвязь, являющуюся важным средством коммуникации на обширных территориях Севера. Общая научная задача — изучение поведения материалов при низких температурах. На Севере — наибольший интерес к ее решению, и занимается ею специально созданный в Якутске Институт физико-технических проблем Севера. В Якутске же, где сама природа создала как бы естественную лабораторию для изучения вечной мерзлоты, работает Институт мерзлотоведения СО АН СССР, единственный в стране в этой области науки.

Изучение на территории Сибири строения земной коры и верхней мантии Земли, процессов образования и закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых позволяет создавать научную теоретическую основу, на которую опираются в своей работе геологи-практики. Так, благодаря разработанным сибирскими геологами методам прогноза и оценки была доказана и практически подтверждена промышленная нефтеносность палеозойских отложений, обнаружены нефтяные и газовые месторождения в Восточной Сибири. В соответствии с прогнозами сибирских геологов в Восточной Сибири был открыт Непский калиеносный бассейн, как предполагается, наиболее мощный не только в нашей стране, но и в мире.

Большой объем исследований провели экономисты Отделения, одними из первых в стране развернувшие работы по математическому моделированию динамики народного хозяйства и его отраслей. Они были в числе пионеров разработки экономико-математических методов территориального планирования — сейчас это одно из главных направлений их деятельности. Институт экономики и организации промышленного производства в течение ряда лет работает над проблемами формирования территориально-производственных комплексов Сибири. Выполнена большая работа по подготовке положений целевой комплексной программы освоения зоны БАМ, прорабатываются основы освоения арктического побережья СССР.

Широко известны исследования сибирских археологов. Они внесли значительный вклад в определение

исторической роли многочисленных народов Сибири, их места в развитии мировой культуры.

Результаты фундаментальных исследований ученых СО АН СССР получили широкое признание в нашей стране и за рубежом. Среди ученых Отделения 14 Героев Социалистического Труда, 60 лауреатов Ленинской и Государственной премии, 20 лауреатов премий Ленинского комсомола, 13 — премий Совета Министров СССР, 20 — именных премий и медалей Академии наук СССР. Более 60 ученых избраны членами иностранных академий, международных научных союзов и обществ, 40 входят в редколлегии международных журналов.

Свыше 100 наиболее крупных разработок ученых Сибирского отделения защищено более чем 980 патентами в ряде зарубежных государств. Право на коммерческое использование многих изобретений передано по лицензионным соглашениям фирмам США, ФРГ, Швеции, Мексики, Боливии. Ряду промышленных и научных организаций социалистических и капиталистических стран поставляются по контрактам уникальное оборудование, материалы и техническая документация.

Сибирское отделение на протяжении 25 лет своего существования активно участвует в решении практических задач развития производительных сил Сибири. В 1978 г. этот комплекс работ оформился в широко известную программу «Сибирь», объединившую усилия специалистов академических учреждений, отраслевых институтов и вузов. Роль программы была высоко оценена и во время работы Всесоюзной конференции по развитию производительных сил Сибири, состоявшейся летом 1980 г., итогом которой явились научно обоснованные рекомендации по комплексному сбалансированному развитию всего хозяйства региона на 11-ю пятилетку. Многие из этих рекомендаций нашли отражение в принятых директивных документах партии и правительства.

Одна из важных задач Сибирского отделения, которая предусматривалась при его организации, — создание надежной системы подготовки научных кадров, специалистов высокой квалификации. И эта задача успешно решается. В настоящее время Сибирское отделение не только обеспечивает свои потребности в кадрах, но и оказывает существенное влияние на формирование кадрового потенциала вузов, отраслевых исследовательских и производственных организаций. В год 60-летия СССР уместно отметить, что создание СО АН СССР способствовало быстрому развитию науки в Якутской и Бурятской автономных республиках, росту научной и технической интеллигенции коренных народностей Сибири.

Грандиозные преобразования, происходящие и намеченные в Сибири решениями XXVI съезда КПСС, требуют максимального привлечения достижений науки, особенно на стадии прогнозирования и перспективного планирования. Сибирское отделение Академии наук СССР, обладающее сегодня мощным научным и общеобразовательным потенциалом, богатым опытом взаимодействия с народным хозяйством, как и прежде, фиксирует внимание на фундаментальных исследованиях по основным проблемам науки и их приложениях, ориентированных на всемерное развитие производительных сил Сибири.

## Открытие калийных солей в Сибири

М. А. Жарков, Г. А. Мерзляков, А. Л. Яншин

В 1976 г. многолетние поиски калийных солей в Сибири, наконец, увенчались успехом — на севере Иркутской области в бассейне р. Непы были вскрыты мощные калийные пласты. Это открытие не только подытоживает важный этап в изучении кембрийских соленосных отложений Восточной Сибири, но и позволяет создать на востоке Советского Союза новую сырьевую базу по производству минеральных удобрений.

Эта задача приобретает особенно важное значение в наши дни, когда принята Продовольственная программа СССР на период до 1990 г. Один из пунктов Программы — развитие материально-технической базы агропромышленного комплекса страны, и в частности развитие химизации сельского хозяйства.

### КРУПНЕЙШИЙ СОЛЕНОСНЫЙ БАССЕЙН

Издавна предполагали, что в недрах Восточной Сибири имеется калийная соль. На это указывали не только многочисленные источники соленых вод, с давних пор используемые для получения поваренной соли, но и выходы соляных пород на поверхность в некоторых районах Лено-Енисейского края. Один такой район находится на р. Кемпендяй, притоке Вилюя, другой — на побережье Хатангского залива. Еще в 1791 г. известный путешественник Г. Локсман писал: «Самое замечательное — Соляная гора на р. Кемпендяй, скала из соли без малейшей примеси, более 80 саженей высоты и, может быть, 40 км в диаметре, а также соляной источник в 40 км ниже у той же реки, извергающий с половины декабря до половины марта около 3 000 000 пудов прекраснейшей соли»<sup>1</sup>.

Примечательно, что все исследователи связывали образование сибирских соленых вод с размывом соляных толщ, залегающих на глубине, даже несмотря на то, что непосредственные выходы соляных пород во многих районах отсутствовали. Впервые пласты каменной соли были вскрыты скважинами в районе г. Усолья-Сибирского лишь в 1923 г. Здесь на глубине 693,4 м был обнаружен соляной пласт мощностью 18 м. В 1925 г. новые скважины вошли в соляную толщу на глубину 27,7 м. С этого времени быстро стали поступать новые сведения о площади распространения, мощности и глубине залегания соленосных толщ.

Уже в 1927 г. М. К. Коровин писал об Усольском месторождении каменной соли, а в 1935 г. В. П. Маслов выделил Иркутский соленосный бассейн с огромными запасами соли, который, по имеющимся наблюдениям, простирался далеко на запад от Усолья-Сибирского в сторону Черемхово. Эти данные свидетельствовали о действительной связи соленых источников Восточной Сибири с каменной солью, залегающей на глубине, и позволяли говорить о широком распространении соленосных толщ в этом регионе.

В конце 30-х годов многие исследователи, и среди них М. М. Тетяев, И. С. Шаратов, А. С. Хоментовский, Я. Я. Яржемский и др., предположили, что соленосные толщи распространены на востоке от Иркутска до Якутии, на западе — до района г. Канска и нижнего течения р. Ангары. А. Г. Вологдин и ряд других геологов выделяли в Восточной Сибири еще большее по площади «соляное кольцо», со всех сторон окружающее Тунгусский бассейн; в пределах этого «кольца» могли присутствовать толщи каменной соли. Эти предположения подтвердились в 40-х и 50-х годах. Многочисленные скважины, пробуренные в это время в Восточной Сибири, вскрыли соленосные отложения на огромной площади от Ени-

<sup>1</sup> Обручев В. А. История геологического исследования Сибири. Вып. 1. М.—Л., 1931, с. 68.



Михаил Абрамович Жарков, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией осадочных формаций Института геологии и геофизики СО АН СССР. Специалист в области осадочных формаций и проблем соленакопления. Ученый секретарь Межведомственной комиссии по координации работ в области поисков фосфоритов и калийных солей на территории Сибири и Дальнего Востока, куратор программы «Калийные соли», входящей в комплексную программу «Сибирь». Автор ряда монографий, в том числе: Палеозойские соленосные формации мира. М., 1974; История палеозойского соленакопления. Новосибирск, 1978.



Геннадий Александрович Мерзляков, кандидат геолого-минералогических наук, младший научный сотрудник той же лаборатории, ученый секретарь программы «Калийные соли». Занимается изучением бассейнов древнего соленакопления и перспектив их калиенности. Автор многих работ, в том числе монографии: Пермские соленосные бассейны Евразии. Новосибирск, 1979.



Александр Леонидович Янин, академик, заместитель директора Института геологии и геофизики СО АН СССР, президент Московского общества испытателей природы, председатель Межведомственной комиссии по координации работ в области поисков фосфоритов и калийных солей на территории Сибири и Дальнего Востока, куратор программы «Калийные соли». Автор многих капитальных работ по тектонике, общей геологии, эволюции геологических процессов, закономерностям формирования месторождений полезных ископаемых. Герой Социалистического Труда, лауреат Государственных премий (1969, 1978).

сейского кряжа и Восточного Саяна до Прибайкалья и Витимо-Патомского нагорья.

Впервые соленосная толща полностью была пройдена в Иркутской области Бельской опорной скважиной. Ее мощность оказалась равной 596 м. Пласты каменной соли в этой толще многократно чередуются с «несолеными» породами — ангидритами, доломитами, известняками. В недрах Лено-Енисейского края была вскрыта не одна, а несколько соляных толщ. Нижняя толща, пробуренная в районе Усоляя-Сибирского и Бельска, была названа усольской свитой, а лежащая выше соленосная толща получила название бельской свиты. Над этой толщей в центральных районах Восточной

Сибири прослежены еще две соляные свиты: ангарская и литвинцевская. Возраст всех этих свит оказался очень древним — кембрийским, они отложились в громадном морском бассейне более 500 млн лет назад.

Выполненные в последние десятилетия геологические и геофизические работы позволили выяснить, что кембрийские соленосные отложения присутствуют и на севере Восточной Сибири: в районе г. Мирного, в центральной, западной и северозападной частях Тунгусского бассейна. Они распространены на площади около 2,5 млн км<sup>2</sup>. И почти везде на этой громадной территории развиты уже упоминавшиеся четыре соленосные свиты: усольская,

бельская, ангарская и литвинцевская. Их суммарная мощность в ряде районов превышает 2,5—3 тыс. м. Объем солей в свитах, по самым скромным подсчетам, приближается к 600 тыс. км<sup>3</sup>. Восточно-Сибирский кембрийский соленосный бассейн по своим размерам оказался самым крупным из всех известных на Земле.

Вместе с тем проведенные комплексные геолого-геофизические исследования показали, что, кроме кембрийских соленосных отложений, на территории Восточной Сибири развиты также более молодые соляные толщи девонского возраста. Они выявлены в трех районах: Норильском на северо-западе Сибирской платформы, в Хатангском прогибе на севере Красноярского края и в Кемпедянском прогибе в Якутии. Именно девонская каменная соль выходит на поверхность в том районе, который упоминал Локсман. Контуры распространения девонских солей только выясняются, но уже сейчас установлена их приуроченность к крупному соленосному бассейну, который получил название Северо-Сибирский.

Широкое распространение в недрах Восточной Сибири мощных соленосных отложений давало основание полагать, что среди последних должны быть и калийные соли.

### НЕМНОГО ИСТОРИИ

Еще в 1936 г., изучая соляные источники по Нижней Тунгуске и Непе, И. С. Шапов установил повышенное содержание в водах калия. Это были первые сведения о перспективности бассейнов этих рек для поисков калийных солей.

В конце 40-х годов соленосные отложения, вскрываемые скважинами, а также высокоминерализованные подземные рассолы и соленые воды были всесторонне исследованы. Был собран большой материал, существенно уточняющий перспективы обнаружения калийных солей в Ангаро-Ленском междуречье.

А. А. Иванов и М. Л. Воронова во многих скважинах среди отложений усольской соленосной свиты обнаружили рассольные включения калийных минералов: карналлита и сильвина. Е. Э. Разумовская обобщила имеющиеся данные и в середине 50-х годов составила карту, на которой в качестве первоочередного для поисков калийных солей был выделен район верховьев Непы. Специальные работы по опробованию соляных источников верховьев Нижней Тунгуски и Непы провел в 1954 г. Ю. М. Тарасевич. Все полученные мате-

риалы были настолько убедительными, что Иркутскому геологическому управлению поручили провести в верховьях Непы поисковое бурение. Скважины бурились в 1957—1958 гг., но, к сожалению, из-за малой мощности буровых станков соленосных отложений они не вскрыли.

Тем не менее оценка перспектив поисков месторождений калийных солей в Восточной Сибири продолжалась. Геологические, палеогеографические, петрографические и химические работы по изучению солей и рассолов, которые были проведены в конце 50-х годов большим коллективом исследователей, позволили детализировать условия их образования и выяснить, что калийные соли могли сформироваться в кембрийскую эпоху. Одновременно была высказана и другая точка зрения о малой вероятности существования калийных залежей в кембрийских соленосных отложениях в связи с тем, что калийные минералы будут рассеяны в пластах каменной соли. Объяснялось это тем, что в кембрийском солеродном бассейне процесс осадконакопления якобы не мог достигать стадии осаждения калийных солей: он должен был прерываться поступлением морских вод, после чего наступало распреснение водоема и образование карбонатных осадков. Кроме того, была высказана идея о том, что кембрийская эпоха вообще не благоприятна для формирования крупных калийных залежей из-за малого количества калия в морских водах этой древней эпохи и поглощения его организмами.

Возникла настоятельная необходимость дать научно обоснованный прогноз для поисков месторождений калийных солей на территории Сибири. Эта задача была выполнена в 1960—1962 гг. одним из авторов этой статьи — А. Л. Яншиным<sup>2</sup>, который привел убедительные доказательства существования калийных залежей на юге Сибирской платформы. Анализ палеогеографических и палеотектонических условий кембрийского соленакпления позволил выяснить, что многие тектонические депрессии на территории Иркутского амфитеатра (т. е. южной части Сибирской платформы, ограниченной горными сооружениями Енисейского кряжа, Восточного Саяна и Байкальского нагорья) являлись благоприятными структурами для образования в условиях аридного климата

<sup>2</sup> Яншин А. Л. — Геол. и геоф., 1962, № 10, с. 3.

полных циклов соленакопления, которые заканчивались осаждением калийных солей. Данные о содержании калия в древних глауконитах показали, что его количество в водах Мирового океана кембрийской эпохи было не ниже, чем в последующие этапы геологической истории, и что в конце циклов соленакопления в кембрийское время должно было происходить осаждение калийных солей. О существовании калийных залежей в соленосных толщах Иркутского амфитеатра свидетельствовали и

бром-хлорные коэффициенты каменной соли, показывающие, что концентрация рассолов раннекембрийского солеродного бассейна неоднократно достигала таких значений, при которых начинается кристаллизация сильвина и карналлита. На основе этих данных было сделано заключение, что если «в Иркутском амфитеатре организовать достаточно широкие поисковые работы, то, несомненно, здесь можно открыть в недалеком будущем крупные калийные месторождения»<sup>3</sup>.



Калиеносные бассейны Советского Союза. В настоящее время на территории Советского Союза выявлено 8 калиеносных бассейнов и месторождений. Наиболее известные из них: Верхнекамский [5] и Верхнепечорский [6] — находятся в Приуралья, Припятский [2] — в Белоруссии и Прикарпатский [4] — на Украине. Значительны перспективы Принаспийского соленосного бассейна, где выявлены также крупные калийные месторождения, как Эльтонское [3] и Жиланское [4], а также Среднеазиатского соленосного бассейна, в пределах которого разведано несколько месторождений калийных солей [7]. Непский калиеносный бассейн [8] — первый из выявленных на востоке СССР.

-  Калиеносные бассейны и месторождения  
 Восточно-Сибирский соленосный бассейн

#### ПЕРВЫЙ ЭТАП ПОИСКОВЫХ РАБОТ

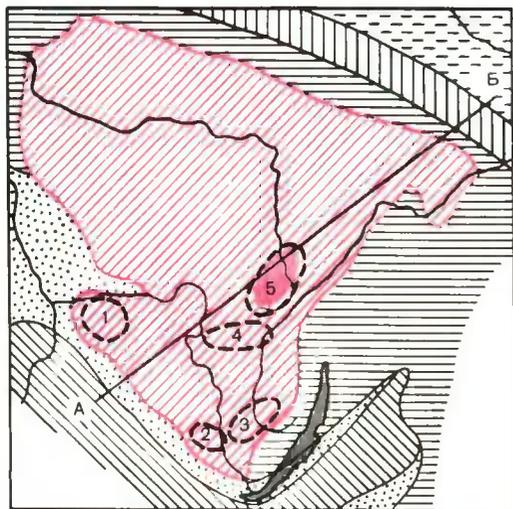
Большое значение для развертывания поисковых работ имели решения декабрьского (1963) и февральского (1964) Пленумов ЦК КПСС о развитии сельского хозяйства и химизации страны. Научное руководство поисками было поручено Межведомственной комиссии по координации работ в области поисков фосфоритов и калийных солей на территории Сибири и Дальнего Востока и Комиссии по изучению солевых ресурсов Сибири и Дальнего Востока.

Уже в 1964 г. на совещании в Иркутске принимается генеральный план ра-

<sup>3</sup> Там же, с. 19.

бот, в котором были намечены районы поисков: в Иркутской области — Илгинская впадина, районы юго-восточного Присяяня, Устькутско-Заярский и Непско-Гаженский, в Красноярском крае — Канско-Тасеевская впадина. Красноярскому и Иркутскому геологическим управлениям предстояло пробурить 110 тыс. погонных метров скважин.

Результаты анализа данных бурения позволили установить в соленосных отложениях нижнего кембрия три содержащих калийные соли горизонта, прослеживаю-



Восточно-Сибирский соленосный бассейн. Его площадь достигает 2,5 млн км<sup>2</sup>. Поиски калийных солей проводились в пяти районах: 1 — Канско-Тасеевская впадина, 2 — Присяянье, 3 — Илгинская впадина, 4 — Устькутско-Заярский район, 5 — Непско-Гаженский район. АБ — линия геологического разреза через кембрийские соленосные отложения.

-  Эффузивно-осадочные геосинклинальные отложения
-  Терригенно-карбонатные отложения
-  Известняково-доломитовые отложения
-  Архаично-водорослевые биогермы
-  Известняково-глинистые осадки
-  Каменная соль
-  Калийная соль
-  Районы, перспективные на калийные соли

щихся на всей территории Иркутского амфитеатра: один — в верхней части усольской соленосной свиты и два — в ангарской. В их составе обнаружены все разновидности хлоридных калийных пород, установлены наборы с калийными минералами и выявлено их зональное расположение. Все полученные материалы свидетельствовали о том, что залежи калийных солей в Восточной Сибири имеются, но обнаружить их в тех районах, где велись поиски, так и не удалось. В Канско-Тасеевской впадине на Троицком валу были найдены лишь прослои сильвинитов небольшой мощности (5—10 см). Однако калийные пласты значительной мощности нигде не были вскрыты. В результате поиски были прекращены в Иркутской области в 1969 г., а в Красноярском крае в 1971 г.

К сожалению, из-за большой удаленности и трудной доступности не был обследован один из самых благоприятных районов — Непско-Гаженский. Сейчас можно сказать, что это отодвинуло открытие калиеносного бассейна в Восточной Сибири еще по крайней мере на 5 лет.

Вновь появились высказывания, что калийные соли в соляных толщах кембрийского возраста могут присутствовать лишь в виде рассеянных минералов, а специфические условия соленакпления на Сибирской платформе «... едва ли могли способствовать широкому накоплению промышленных залежей калийных солей»<sup>4</sup>.

В такого рода заключениях не учитывалось то обстоятельство, что на первых этапах поисков на площади в 2,5 млн км<sup>2</sup> трудно было ожидать быстрого открытия не только конкретного месторождения калийных солей, но даже крупного калиеносного бассейна.

#### НЕПСКИЙ КАЛИЕНОСНЫЙ БАССЕЙН

После 1971 г. наступил этап углубленного изучения материалов поисковых работ. Результаты исследований были опубликованы в ряде капитальных монографий и сводок<sup>5</sup>, а также обсуждены на сове-

<sup>4</sup> Яржемский Я. Я., Узембло В. В. К условиям формирования галогенных отложений нижнего кембрия Иркутского амфитеатра. — В кн.: Минералого-петрографические исследования галогенных отложений. Л., 1969, с. 56.

<sup>5</sup> Перспективы калиеносности Сибири. М., 1972; Геология и калиеносность кембрийских отложений юго-западной части Сибирской платформы. Новосибирск, 1974; Закономерности строения соленосных отложений кембрия юга Сибирской платформы. М., 1977.

щениях. В эти годы во многих районах Сибирской платформы бурились новые глубокие нефтепоисковые скважины. Поскольку эти скважины проходили по соляным отложениям без отбора керна, необходимо было проводить в них гамма-каротаж, позволяющий расчленять горные породы по их радиоактивности. В широких масштабах стали проводиться поиски нефти и газа и в Непско-Гаженском районе. Э. И. Чечелем, Я. Г. Машовичем и др. была составлена прогнозная карта Восточно-Сибирского соленосного бассейна и в

качестве первоочередного объекта для поисков калийных солей рекомендован Суриндо-Гаженский прогиб, расположенный в верховьях рек Непы и Нижней Тунгуски. Для территории этого прогиба была составлена более детальная прогнозная карта.

В 1976 г. в двух нефтепоисковых скважинах, пробуренных на Даниловской площади в бассейне Непы, М. М. Мандельбаум и В. В. Самсонов обнаружили в разрезе ангарской соленосной толщи интенсивные гамма-аномалии, которые ука-

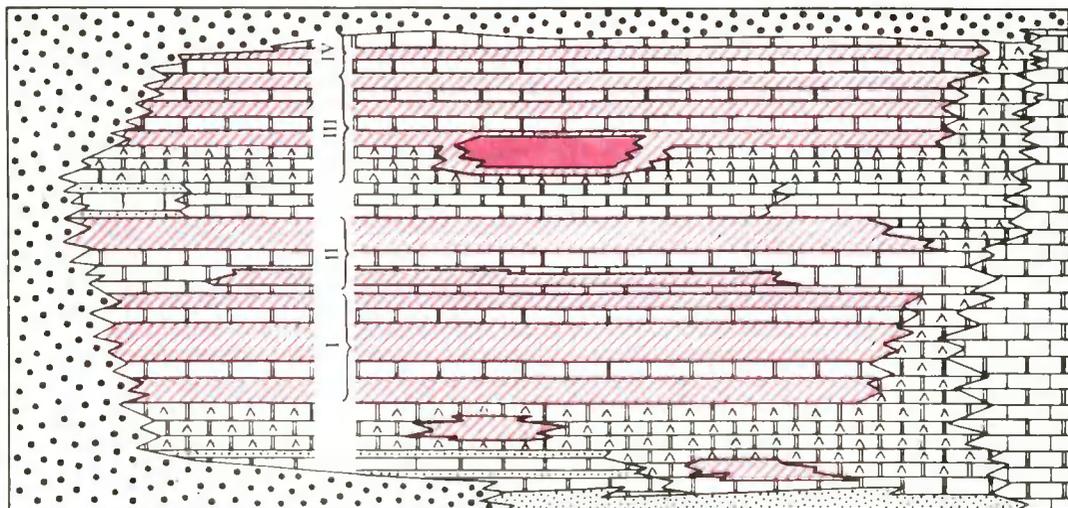


Схема строения кембрийских соленосных отложений Восточно-Сибирского бассейна по разрезу АБ, показанному на предыдущем рисунке. Хорошо видно, что в кембрийских отложениях присутствует несколько толщ каменной соли, которые чередуются с карбонатными и сульфатными отложениями. Прослеживаются 4 соленосные свиты: усольская (I), бельская (II), ангарская (III) и литвиццевская (IV). Калийные соли Непского бассейна залегают в нижней части ангарской свиты в составе гаженской соляной пачки.

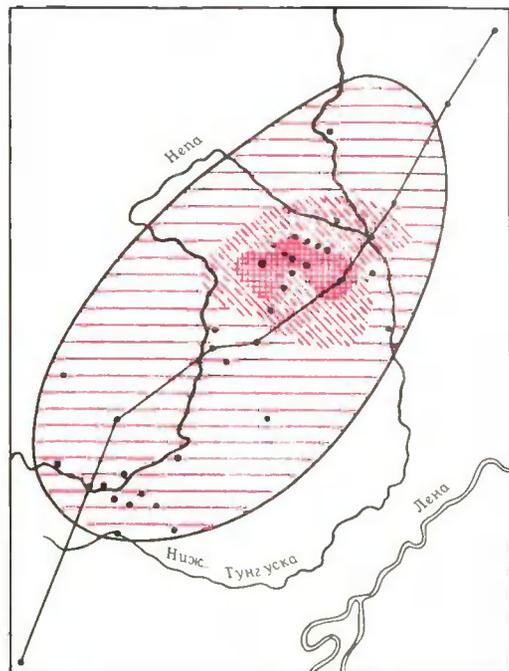
-  Красноцветные терригенные отложения
-  Сероцветные терригенные отложения
-  Чередование сероцветных карбонатных и терригенных пород
-  Доломиты
-  Ангидрит-доломиты
-  Известняки
-  Каменная соль
-  Калийная соль

зывали на то, что здесь имеются калийные соли. Уже в начале 1977 г. была вскрыта залежь карналлитовых пород мощностью 38 м. Анализ материалов нефтепромысловой геофизики убедительно показал, что и в других нефтяных скважинах, пройденных в пределах Суриндо-Гаженского прогиба, присутствуют пласты калийных солей, причем не только карналлитового, но и сильвинитового состава, выделявшихся по более интенсивным гамма-аномалиям.

В ноябре 1977 г. на рабочем совещании, созванном Министерством геологии СССР и Междуведомственной комиссией по координации работ в области поисков фосфоритов и калийных солей на территории Сибири и Дальнего Востока, было решено возобновить поиски месторождений калийных солей в Восточной Сибири и сконцентрировать их в Суриндо-Гаженском прогибе. В 1978 г. Иркутское геологическое управление начало организацию поисковых работ. В 1979 г. бы-

ли пробурены первые скважины, которые вскрыли пласты сильвинитового состава.

Таким образом, многолетние поиски калийных солей в Восточной Сибири увенчались успехом — на территории Иркутской области выявлен Непский калиеносный бассейн. Площадь бассейна составляет более 20 тыс. км<sup>2</sup>. Прогнозные запасы сильвинитовых руд могут достигать 70 млрд т. По этим показателям бассейн относится к крупнейшим в мире. Это открытие явилось важным результатом совместных работ АН СССР и Министерства



Непский калиеносный бассейн. Поиски калийных солей в Непском бассейне ведутся в его центральной части, где скважинами вскрыты мощные пласты сильвинитовых руд.

-  Граница распространения калийных солей
-  Калийные соли карналлитового состава
-  Калийные соли сильвинитового состава
-  Калийные соли карналлитового состава с пластами сильвинитов
-  Скважины
-  Линия геологического профиля через Непский бассейн

геологии СССР по освоению минеральных ресурсов восточных районов страны в соответствии с программой «Сибирь».

## ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ СТРОЕНИЯ НЕПСКОГО КАЛИЕНОСНОГО БАССЕЙНА

Непский калиеносный бассейн расположен на севере Иркутской области в междуречье верховьев Нижней Тунгуски и Непы. Он находится в зоне Непских линейно вытянутых складок и приурочен к Суриндо-Гаженскому прогибу, который протягивается с юго-запада на северо-восток почти на 240 км и имеет наибольшую ширину около 120 км.

По данным Э. И. Чечеля, Г. М. Другова, Г. А. Галкина, В. Г. Кузнецова и др., калийные соли в Непском бассейне залегают в нижней части ангарской свиты в составе соленосной пачки, выделяемой под названием гаженской. По характеру распределения пород гаженская пачка подразделяется на пять горизонтов, которые прослеживаются во всех скважинах снизу вверх: первый — нижних ангидритов, второй — нижней каменной соли, третий — калиеносный, четвертый — верхней каменной соли, пятый — верхних ангидритов.

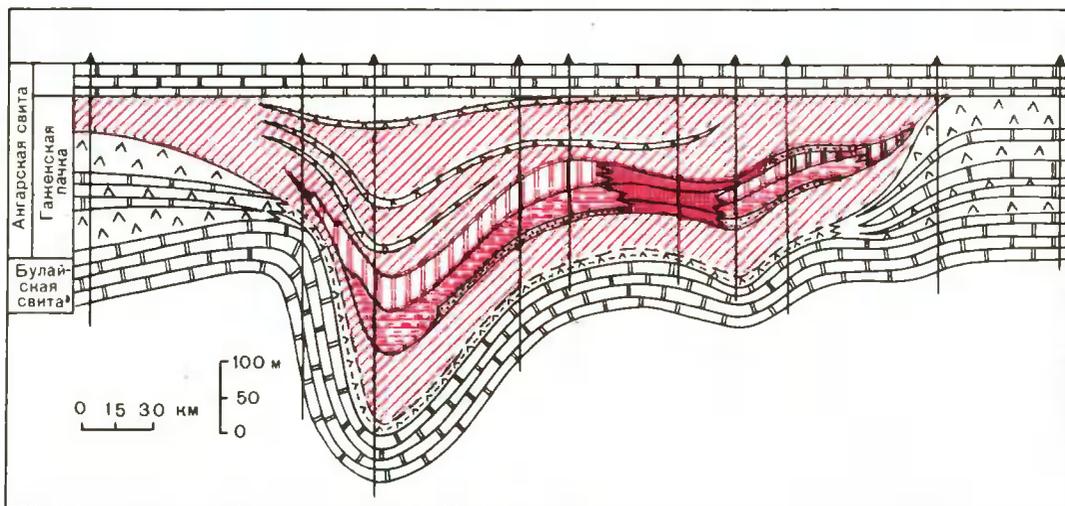
Формирование соленосных отложений происходило в незаполненной осадками крупной впадине, которая возникла в самом начале накопления пород ангарской свиты. Об этом свидетельствует резкое изменение мощности и состава горизонта нижних ангидритов. В центре Непского бассейна он имеет мощность менее 1 м и представлен глубоководными ламинитовыми ангидритами, тогда как по окраине развиты мелководные массивные ангидриты, достигающие мощности 30—60 м. Наличие такой впадины в рельефе дна способствовало стеканию в нее тяжелых рассолов, испарение которых приводило к ее заполнению осадками нижней каменной соли и калиеносного горизонта.

Сам калиеносный горизонт имеет весьма сложное строение. Полученные данные позволили выделить три типа разреза калиеносного горизонта: карналлитовый, сильвин-карналлитовый и сильвинитовый. Карналлитовый тип разреза встречается в окраинных участках Непского бассейна. В нижней его части прослеживается галит-карналлитовая зона мощностью около 10 м, в которой наблюдаются маломощные прослои сильвин-карналлитовых пород. Выше располагается карналлитовая

зона, имеющая мощность 20—30 м. Верхняя часть горизонта вновь имеет галит-карналлитовый состав; ее мощность редко превышает 50 м. Суммарная мощность калиеносного горизонта в карналлитовом типе разреза составляет 90—100 м.

Сильвин-карналлитовый тип характерен для более внутренних участков Непского бассейна и, по-видимому, со всех сторон оконтоурен карналлитовыми отложениями. В составе этого типа разреза, наряду с породами карналлитового и галит-карналлитового состава, присутствуют силь-

вин-карналлитовые породы, а также часто встречаются пласты сильвинитов значительной мощности. Сильвин-карналлитовый тип разреза подразделяется иркутскими геологами на два подтипа. Первый подтип, возможно, распространен на северо-востоке. Пласты сильвинитов здесь залегают преимущественно в верхней части калиеносного горизонта. Суммарная мощность таких пластов достигает 8—16 м. В разрезах второго подтипа пласты сильвинитов залегают главным образом в нижней части калиеносного горизонта. В этих раз-



Профиль, показывающий строение и условия залегания калийных солей в Непском калиеносном бассейне. На профиле видно, что калиеносный горизонт приурочен к зоне с наибольшей мощностью гаженской соляной пачки. Калийные соли накапливались во впадине, которая была заложена в самом начале ангарского времени. Об этом свидетельствуют состав и мощности горизонта нижних ангидритов, который в центре бассейна представлен ламинитовыми глубоководными осадками, а по окраинам — мелководными массивными ангидритами.

 Карналлит-галитовые породы  
 Карналлитовые породы

 Карбонатные породы (известняки и доломиты)  
 Сульфатные породы (ангидриты и гипсы)  
 Каменная соль  
 Ламинитовые битуминозные ангидриты  
 Каменная соль, переслаивающаяся с сильвинитами и карналлитами  
 Сульфаты  
 Сильвин-галитовые породы  
 Сильвиновые породы

резах хорошо выделяется пласт массивных сильвинитов мощностью до 18,6 м.

Сильвинитовый тип разреза калиеносного горизонта развит во внутренних участках Непского бассейна. В нем присутствуют только содержащие сильвин породы. Как правило, наблюдаются несколько (от 2 до 7) сильвинитовых пластов, суммарная мощность которых колеблется от 3 до 28 м.

Чрезвычайно важной закономерностью сильвинитового типа разреза, выявленной в последнее время, является присутствие в средней части калиеносного горизонта пласта так называемых массивных сильвинитов. Его мощность меняется от 3,2 до 13 м.

Богатые сильвиниты в Непском бассейне вскрыты в его центральной части.

Содержание КСl в них составляет 30—40% при суммарной мощности пластов от 10 до 33 м. Сильвинитовые руды отличаются исключительно низким содержанием  $MgCl_2$  (сотые доли процента, редко 0,5%) и нерастворимого остатка (доли процента, редко более 1%). Глубины залегания калиеносного горизонта в пределах изученной части Непского бассейна колеблются от 600 до 900 м.

В настоящее время в Непском бассейне поисковые работы продолжаются.

Поиски калийных солей в Сибири были вызваны необходимостью обеспечить сельское хозяйство Сибири и Дальнего Востока собственной промышленной базой по производству калийных удобрений, потребность в которых очень велика.

Пока нужды в калийных удобрениях в Сибири удовлетворяются далеко не полностью. В значительной мере это объясняется тем, что калийные удобрения невыгодно перевозить на дальние расстояния, измеряемые тысячами километров. Между тем все районы современной добычи калийных солей расположены на территории Европейской части СССР — в Северном Приуралье (Соликамский бассейн), Припятской впадине (Старобинское месторождение в Белоруссии), Прикарпатье (Стебникское и др. месторождения), т. е. на огромном удалении от земледельческой зоны Сибири. Несмотря на предусмотренное увеличение добычи калийных солей на этих месторождениях, потребности Сибири за их счет нельзя будет удовлетворить даже в 2000 г.

Нередко считают, что для сибирских пахотных земель необходимы в первую очередь фосфатные и азотные удобрения, а калийные нужны в ограниченных размерах. Однако следует иметь в виду, что без внесения калийных удобрений эти земли быстро будут обеднены калием — этим исключительно важным для нормальной физиологии растений элементом.

В настоящее время спрос на удобрения, и в том числе на калийные, в мире весьма велик и постоянно растет. В 1976—1977 гг. было использовано 23 млн. т  $K_2O$ . По подсчетам, в 1985 г. потребуется 33 млн т  $K_2O$ . Можно думать, что эта цифра будет еще большей из-за интенсивной химизации сельского хозяйства во многих странах, и в том числе в СССР. Подобная тенденция предопределяет не только необходимость увеличения добычи калийных солей на старых место-

рождениях, но и освоения в ближайшие 10—15 лет новых, особенно вблизи районов интенсивного развития сельского хозяйства.

Разработка калийных солей в Непском бассейне позволит не только решить проблему обеспечения калийными удобрениями сельского хозяйства Сибири, но и создать здесь целый комплекс предприятий химической промышленности. Все это делает задачу освоения этого бассейна исключительно важной.

#### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Чечель Э. И., Машович Я. Г., Гилев Ю. Г. НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО КАЛИЕНОСТИ ОТЛОЖЕНИЙ АНГАРСКОЙ СВИТЫ ЗОНЫ НЕПСКИХ ДИСЛОКАЦИЙ.— Советская геология, 1980, № 5.

Яншин А. Л. ПЕРСПЕКТИВЫ И НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПОИСКОВ КАЛИЙНОГО И ФОСФАТНОГО СЫРЬЯ В СИБИРИ.— Бюллетень МОИП, отдел геологический, 1964, № 5.

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОЛЕНАКОПЛЕНИЯ. Отв. ред. А. Л. Яншин, М. А. Жарков. Новосибирск: Наука, 1981.

СТРОЕНИЕ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ. Отв. ред. А. Л. Яншин, М. А. Жарков. Новосибирск: Наука, 1981.

## Нелинейные резонансы и динамическая стохастичность

Б. В. Чириков



Борис Валерианович Чириков, доктор физико-математических наук, заведующий сектором Института ядерной физики СО АН СССР. Область научных интересов — классическая и квантовая динамика и статистическая физика.

Недавно изобретенный термин «динамическая стохастичность», использованный в названии этой статьи (как и его более или менее распространенные синонимы — «стохастическая, или хаотическая, динамика», «детерминированный хаос» и др.), все еще, вероятно, вызывает недоумение. Действительно, под динамикой понимается обычно (в том числе и в этой статье) полностью детерминированный процесс эволюции некоторой физической системы, все прошлое и будущее которой однозначно определяется уравнениями движения и начальными условиями, причем последние могут быть заданы в любой момент времени. В простейшем случае классической механики (но не обязательно только в ней) динамический процесс представляет собой движение системы по определенной траектории. С другой стороны, понятие «стохастичность» явно ассоциируется сейчас с присутствием какого-то случайного эле-

мента, какой-то неопределенности. Возможно ли, чтобы строго детерминированный процесс был бы в то же время случайным? Некоторые физические и особенно математические исследования последних лет показывают, что это не только возможно, но при определенных условиях и неизбежно (по крайней мере, в случае классической, некантовой, механики). Выражаясь несколько более определенно, можно утверждать, что случайные, или стохастические, процессы являются крайней, но все же частной формой детерминированного классического движения и как таковые могут быть полностью объяснены без каких-либо дополнительных статистических гипотез. Именно к такому случаю и относится внешне противоречивый термин «стохастическая динамика» (или «динамическая стохастичность»).

Здесь предпринята попытка рассказать об этих интересных результатах с точки зрения естественного развития классической теории нелинейных колебаний<sup>2</sup>. При этом мы ограничимся только динамически-

<sup>1</sup> Любопытно отметить, что буквально греческое слово *stochastikos* означает меткий, догадливый. Столь кардинальная трансформация семантики отражает, по-видимому, глубокое убеждение в том, что и самый меткий иногда промахивается, а самый догадливый — ошибается, мудрость, которую можно считать опытной основой теории вероятностей.

<sup>2</sup> В ином плане близкий круг вопросов рассмотрен в статье: Синяй Я. Г. Случайность неслучайного. — Природа, 1981, № 3, с. 72.

ми системами без диссипации, точнее, так называемыми гамильтоновыми системами<sup>3</sup>.

Хорошо известно, что случайные процессы исследуются статистическими, или вероятностными, методами. Наиболее разработанная и фундаментальная область приложения этих методов — статистическая физика макроскопических тел, состоящих из огромного числа атомов и молекул, в частности теория тепловых процессов. С самого начала для многих (хотя и не для всех) физиков было интуитивно ясно, что статистические законы, несмотря на всю их специфику и необычность, должны как-то объясняться на основе механики молекулярного движения. Представления механической теории теплоты своими корнями уходят в глубокую древность, а в современном виде были сформулированы Л. Больцманом еще в конце прошлого века.

И все-таки первая попытка решения этой проблемы — вывода статистических законов из механики — не удалась. Решение соответствующей механической задачи неожиданно оказалось очень сложным. Впрочем, может быть это и не так уж удивительно, если вспомнить безуспешные попытки решения неизмеримо более простой задачи — о движении всего трех частиц, взаимодействующих по закону тяготения Ньютона, знаменитой проблемы трех тел! Невелики были и успехи старой, классической эргодической теории — специального раздела математики, возникшего из попытки обосновать статистические законы. На развитие самой статистической физики все эти неудачи не оказали заметного влияния, так как физики сумели достаточно четко и правдоподобно сформулировать дополнительные статистические гипотезы (такие, например, как гипотеза «молекулярного хаоса»), которые и восполнили недостающее звено динамической теории.

В последнее время, однако, возникла и быстро развивается совершенно новая область применения статистической теории — к динамике очень простых механических систем, имеющих всего несколько степеней свободы. Примером может служить движение отдельных (не взаимодействующих) заряженных частиц в постоянном, но пространственно неоднородном магнитном поле ускорителя или плазменной ловушки (всего три степени свободы). Эта задача, поставленная в свое время Г. И. Будкером, положила начало исследованиям феномена динамической стохастичности в Институте ядерной физики СО АН СССР. Еще более простые примеры будут рассмотрены ниже. Здесь уже заранее совершенно не очевидно, действуют ли вообще в таких простых системах статистические законы и если да, то какие именно. На эти два основных вопроса и должна дать ответ динамическая теория.

Именно такого рода задачи в значительной мере стимулировали бурное развитие современной эргодической теории, которая переживает сейчас свое второе рождение. Наиболее значительные успехи этой теории связаны прежде всего с именами советских математиков, особенно А. Н. Колмогорова и его школы, хотя и физики тоже внесли определенную вклад в развитие этого интересного и важного направления. Бесспорным пионером в этой области среди физиков был Н. С. Крылов<sup>4</sup>. Особого упоминания заслуживают также исследования американского физика Э. Лоренца<sup>5</sup>.

## НЕЛИНЕЙНЫЙ РЕЗОНАНС

Теория колебаний вообще и нелинейных колебаний в частности является классическим примером теории, «пронизывающей» все разделы физики и других наук. Формально единство описания колебательных процессов различной природы основано на сходстве математических уравнений, но не исчерпывается им. По крайней мере, поскольку это касается физической теории, не менее важным является система понятий, моделей и приближений, позволяющая ориентироваться в сложном многообразии нелинейных динамических процессов.

Одним из центральных в современной теории колебаний является понятие нелинейного резонанса. Введение этого понятия с самого начала предполагает уже некоторый физический подход, основанный на разделении исследуемой колебательной системы (осциллятора) на «невозмущенную часть» и «возмущение». Основное «свойство» невозмущенной системы

<sup>3</sup> Об особенностях стохастической динамики диссипативных систем см.: Гапонов-Грехов А. В., Рабинович М. И. Хаотическая динамика простых систем. — Природа, 1981, № 2, с. 54.

<sup>4</sup> Крылов Н. С. Работы по обоснованию статистической физики. М., 1950.

<sup>5</sup> Об этих исследованиях см.: Синай Я. Г. Случайность неслучайного.

заключается в том, что ее движение нам полностью известно. Возмущение же обычно (хотя и не всегда) приходится считать малым, чтобы его влияние можно было анализировать с помощью того или иного приближенного метода, или теории возмущений.

Под резонансом понимается такая ситуация, когда некоторые частоты невозмущенной системы близки между собой или к частотам внешнего возмущения. Для линейных колебаний, как хорошо известно, действие возмущения приводит в этом случае к полному обмену энергией между соответствующими степенями свободы системы — резонанс связи — или к неограниченному росту полной энергии системы — внешний резонанс. В нелинейной системе, однако, все происходит совсем по-другому.

Нелинейность невозмущенных колебаний, которая формально означает нелинейность соответствующих уравнений движения, характеризуется, с физической точки зрения, двумя совершенно различными свойствами. Это, во-первых, ангармоничность колебаний, т. е. наличие в их спектре частот, кратных основной (фурье-гармоник, или обертонов), и, во-вторых, неизохронность, т. е. зависимость частот (как основных, так и, конечно, гармоник) от амплитуды или энергии колебаний. Для динамической стохастичности решающее значение имеет именно неизохронность. В самом деле, эффект возмущения (например, увеличение или уменьшение энергии колебаний) определяется его фазами. Фазы же, в свою очередь, зависят от частот, которые в силу неизохронности изменяются под действием возмущения. При определенных условиях такая «обратная связь» и приводит к очень запутанной (в частности, случайной) картине движения.

Классический пример нелинейных колебаний, с которого фактически и началась современная механика и физика, — движение двух тел, взаимодействующих по закону тяготения. Согласно третьему закону Кеплера, частота колебаний (вращения) тел зависит от их полной энергии  $E$ , а именно пропорциональна  $|E|^{3/2}$ :  $\omega \propto |E|^{3/2}$ . Отметим, что для круговой орбиты колебания являются чисто гармоническими и, таким образом, неизохронность не связана, вообще говоря, с ангармоничностью. Аналогично обстоит дело и при вращении релятивистской заряженной частицы в постоянном магнитном поле: в этом случае  $\omega \propto E^{-1}$ . Наконец, совсем простой пример,

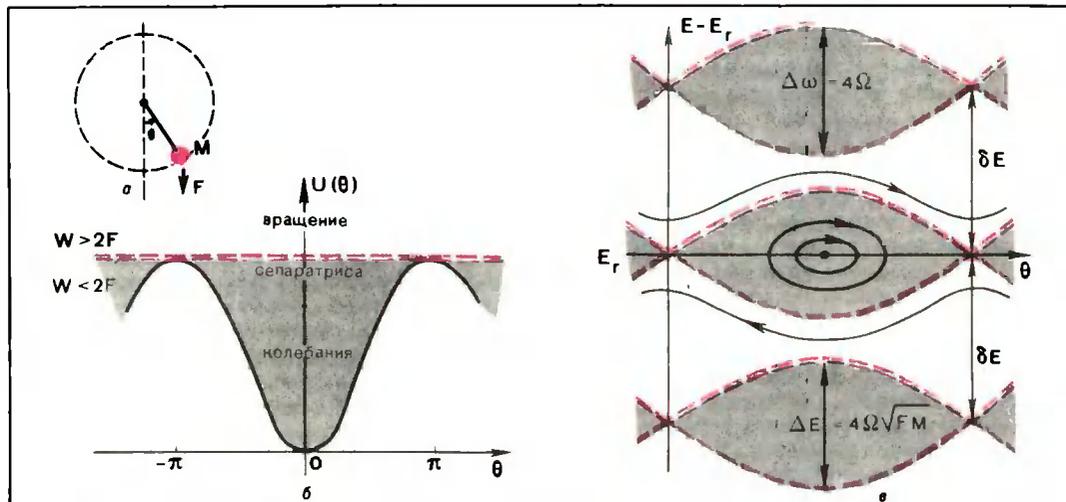
к которому мы еще вернемся ниже, — вращение твердого тела:  $\omega \propto E^{1/2}$ .

## НЕЛИНЕЙНАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ РЕЗОНАНСНОГО ВОЗМУЩЕНИЯ

Значение неизохронности колебаний состоит прежде всего в том, что она стабилизирует действие резонансного возмущения. Механизм такой стабилизации, по существу, очень прост и определяется упомянутой выше обратной связью через фазу. В самом деле, возмущение изменяет энергию колебаний  $E$  (неважно, в какую сторону), а значит и их частоту  $\omega(E)$ , поскольку в силу неизохронности невозмущенных колебаний она зависит от энергии  $E$ . Но тогда резонанс нарушается, т. е. возникает расстройка  $\Delta\omega = \omega(E) - \Omega$  между частотой колебаний  $\omega(E)$  и частотой возмущения  $\Omega$ , и изменение энергии  $E$  прекращается — происходит стабилизация резонансного возмущения. Подробный анализ такого процесса показывает, что изменение  $E$  носит в этом случае характер устойчивых ограниченных колебаний вокруг резонансного значения  $E = E_r$ , при котором частота нелинейного осциллятора в точности равна частоте возмущения:  $\omega(E_r) = \Omega$ . Оказывается, что во многих случаях динамику нелинейного резонанса можно описать с помощью модели маятника, полная энергия которого сохраняется:

$$W = M\dot{\theta}^2/2 + F \cdot (1 - \cos \theta) = \text{const.}$$

Кинетическая энергия маятника  $M\dot{\theta}^2/2$  характеризует отклонение энергии колебаний  $E$  от резонансного значения  $E = E_r$ , а потенциальная энергия  $F \cdot (1 - \cos \theta)$  описывает резонансное возмущение. Сохранение полной энергии маятника  $W$  соответствует, таким образом, периодическому обмену энергией между возмущением и осциллятором. В отсутствие резонансного возмущения ( $F=0$ ) маятник свободно вращается с частотой  $\omega$ , зависящей от его кинетической энергии, — это невозмущенные нелинейные (неизохронные) колебания. При достаточно сильном возмущении ( $2F > W$ ) маятник «захватывается» в резонанс с возмущением — его свободное вращение переходит в колебания в ограниченном интервале углов  $\theta$ . Угол отклонения маятника  $\theta$  отсчитывается от положения устойчивого равновесия ( $\theta=0$ ) и в рассматриваемой модели равен разности фаз колебаний осциллятора и резонансного возмущения, а угловая скорость  $\dot{\theta} = \omega(E) - \Omega$ , пропорциональная  $E - E_r$ , характеризует расстройку осциллятора по частоте. Положение устой-



Модель маятника для описания нелинейного резонанса (а). Свободное ( $F=0$ ) вращение маятника соответствует невозмущенным колебаниям нелинейного осциллятора (вращению его фазы  $\theta$ ). Потенциальная энергия маятника  $U(\theta) = F(1 - \cos \theta)$  в однородном поле силы  $F$  (например, силы тяжести) представляет резонансное возмущение (б). Угол  $\theta$  в этом случае соответствует разности фаз осциллятора и возмущения, а неподвижное положение маятника (синхронное вращение обеих фаз) — точному резонансу ( $\omega$  равна частоте возмущения  $\Omega$ ). Область нелинейного резонанса [режим колебаний фазы  $\theta$ ] ограничена на фазовой плоскости  $[E - E_r, \theta]$  (а) сепаратрисой (пунктирная линия). Черными линиями показаны отдельные траектории движения маятника: замкнутые линии соответствуют колебаниям маятника, а незамкнутые — его вращению. За ширину нелинейного резонанса по энергии осциллятора  $[\Delta E]$  или по его частоте  $[\Delta\omega \approx \Delta E \cdot d\omega/dE]$  принимается максимальный размер сепаратрисы (здесь все резонансы считаются одинаковой ширины). При перекрытии резонансов  $[\Delta E \gg \delta E]$  движение становится стохастическим. Если же  $\Delta E \gg \delta E$ , то взаимодействие резонансов приводит к образованию лишь узкого стохастического слоя вокруг невозмущенной сепаратрисы, ширина которого экспоненциально убывает с ростом отношения  $\delta E/\Delta E$ .

Значение величин  $\delta E$  и  $\theta$  в начальный момент времени, для которых имеют место колебания фазы  $\theta$ , определяют область нелинейного резонанса. Она ограничена (отделена от области вращения фазы  $\theta$ ) особой траекторией, называемой сепаратрисой, которая соответствует движению маятника из точки неустойчивого равновесия ( $\theta = \pi; \dot{\theta} = 0; W = 2F$ ; маятник направлен вертикально вверх).

Максимальное изменение энергии осциллятора  $E$  или его частоты  $\omega(E)$  в области нелинейного резонанса (т. е. при колебаниях маятника) называется шириной нелинейного резонанса и описывается соотношениями:

$$\Delta E = 4\Omega\sqrt{FM}; \quad \Delta\omega = 4\sqrt{F/M} = 4\Omega_0.$$

Здесь  $\Omega_0$  — частота малых ( $W \ll F$ ) колебаний маятника вблизи положения устойчивого равновесия. Колебания маятника также являются нелинейными, их частота уменьшается с ростом амплитуды от  $\Omega_0$  до нуля на сепаратрисе, где амплитуда максимальна.

По-видимому, впервые некоторые характеристики нелинейного резонанса были исследованы более 200 лет тому назад в знаменитой задаче трех тел. Тогда Л. Эйлер нашел неустойчивые периодические решения, аналогичные точке  $\theta = \pi$  в рассмотренной модели маятника. Несколько позднее Ж. Лагранж получил устойчивые периодические решения (подобные  $\theta = 0$  для маятника). Сейчас известна целая группа малых планет (астероидов), захваченных в резонанс с Юпитером и вращающихся вокруг Солнца с той же средней

чивого равновесия маятника соответствует точному резонансу и такому соотношению фаз, при котором обмен энергией между возмущением и осциллятором отсутствует. Момент инерции маятника  $M = |\Omega \cdot (d\omega/dE)|_{\theta=0}^{-1}$  зависит от неизохронности колебаний осциллятора, определяемой производной  $d\omega/dE$ . Чем она больше, тем меньше инерция маятника и тем быстрее осциллятор выходит из резонанса. В обратном пределе изохронных (линейных) колебаний ( $d\omega/dE \rightarrow 0$ ) момент инерции неограниченно растет ( $M \rightarrow \infty$ ) и резонанс сохраняется неопределенно долго.

скоростью, что и Юпитер (так называемые «греки» и «троянцы»).

Не менее интересными и важными явились исследования нелинейного резонанса между вращением релятивистской частицы в магнитном поле (нелинейный осциллятор!) и ускоряющим ее высокочастотным электрическим полем — знаменитая автофазировка Векслера — Макмиллана. В этих исследованиях, выполненных в основном физиками, наглядная аналогия с механическим маятником использовалась с самого начала, хотя в полной мере значение такой модели для теории нелинейных колебаний выяснилось много позднее<sup>6</sup>.

### ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ РЕЗОНАНСОВ

Описанная выше наглядная и, я бы сказал, приятная картина стабилизации резонанса нелинейностью, к сожалению, осуществляется далеко не всегда. Дело в том, что стабилизация имеет место только в том случае, когда возмущение эффективно действует только на одной частоте, т. е. имеется только один резонанс. Если же их хотя бы два, то картина движения кардинально меняется. Анализ возникающего при этом взаимодействия нелинейных резонансов (или, короче, резонансный анализ) является одним из основных физических подходов к проблемам нелинейных колебаний гамильтоновых систем. Иначе говоря, физик прежде всего старается выяснить, какие резонансы играют роль в той или иной системе и как они взаимодействуют друг с другом.

Роль этого взаимодействия удобно проследить на модели, движение которой описывается так называемым отображением (преобразованием) ее динамических переменных, например таким:

$$\bar{E} = E + k \sin \theta; \quad \bar{\theta} = \theta + T\omega(\bar{E}),$$

где  $k$  — малый параметр возмущения. При таком методе описания движения, восходящем еще к работам А. Пуанкаре и получившем в последнее время широкое распространение, динамическое состояние системы, например фаза  $\theta$  и энергия  $E$ , фиксируется не непрерывно, а лишь в определенных моменты времени, в данном случае через один и тот же интервал времени  $T$ . Отображение связывает состояние систе-

мы  $(\theta, E)$  в данный момент времени и через период  $T$ , когда динамические переменные имеют значение  $\bar{\theta}, \bar{E}$ . Такой метод описания движения можно назвать также стробоскопическим, поскольку мы как бы наблюдаем систему только в моменты очень коротких вспышек света, следующих друг за другом периодически.

Возможна другая интерпретация отображения, которую мы и используем ниже. Можно считать, что отображение как бы заменяет непрерывное возмущение эквивалентным коротким «толчком», который изменяет энергию  $E$  сразу на конечную величину  $\Delta E = \bar{E} - E = k \sin \theta$ . Точно так же, вообще говоря, сложное изменение фазы между толчками ( $\Delta \theta = \bar{\theta} - \theta$ ) заменяется на равномерное вращение фазы с некоторой эффективной частотой  $\omega(\bar{E})$ , зависящей от значения энергии после первого толчка.

Чтобы задать отображение, т. е. найти связь между переменными  $(\theta, E)$  через интервал времени  $T$ , нужно каким-то образом проинтегрировать уравнения движения исходной системы на этом интервале, т. е. частично уже решить исходную задачу. По этой и по другим причинам, исследование отображения много проще, чем исходных непрерывных уравнений движения. Такое «разделение труда» оказывается в ряде случаев очень эффективным<sup>7</sup>.

Разумеется, не любая динамическая система может быть описана таким простым отображением, как приведенное выше, однако во многих интересных случаях это оказывается возможным. Более того, это отображение можно еще упростить, сведя его к так называемому стандартному отображению:<sup>8</sup>

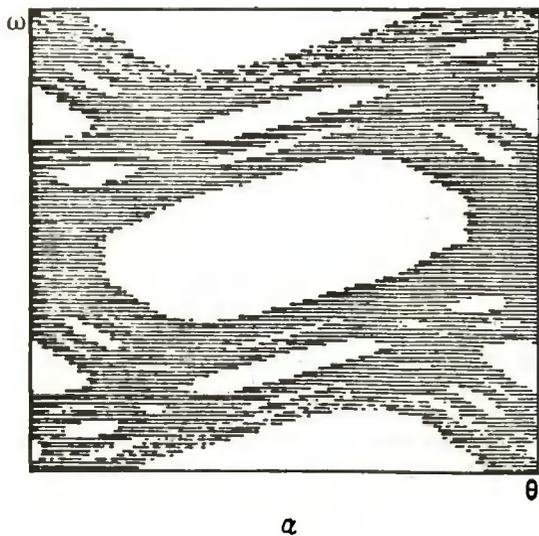
$$\bar{\omega} = \omega + K \sin \theta, \\ \bar{\theta} = \theta + \bar{\omega} = \theta + \omega + K \sin \theta,$$

где  $\omega$  имеет смысл некоторой эффективной частоты колебаний осциллятора, если за единицу времени выбрать период между толчками:  $T=1$ . Динамика этой модели полностью определяется единственным параметром возмущения  $K$ . Возмущение изменяет здесь непосредственно частоту  $\omega$ , что в явном виде выражает нелинейность моделируемых колебаний.

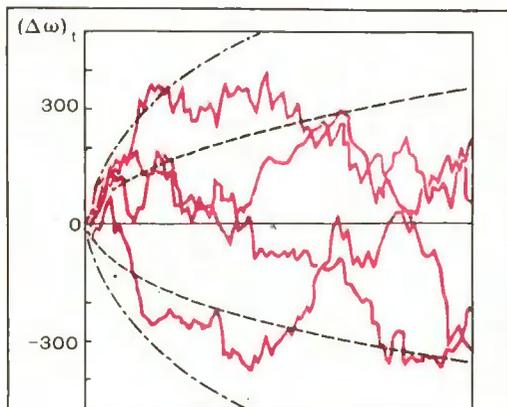
<sup>7</sup> Пожалуй, наиболее интересная задача, которую удалось решить таким методом, связана с оценкой ширины стохастического слоя вокруг сепаратрисы нелинейного резонанса о чем будет рассказано ниже.

<sup>8</sup> Чириков Б. В. Взаимодействие нелинейных резонансов. Новосибирск, 1978. Chirikov B. V. — Phys. Reps. 1979, v. 52 № 5, p. 263.

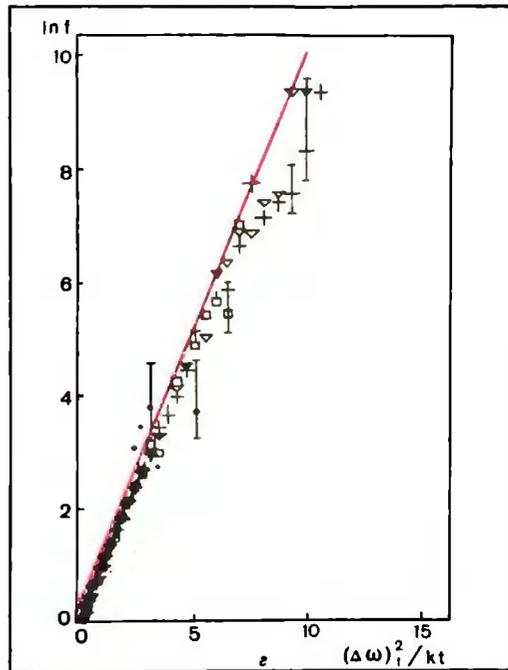
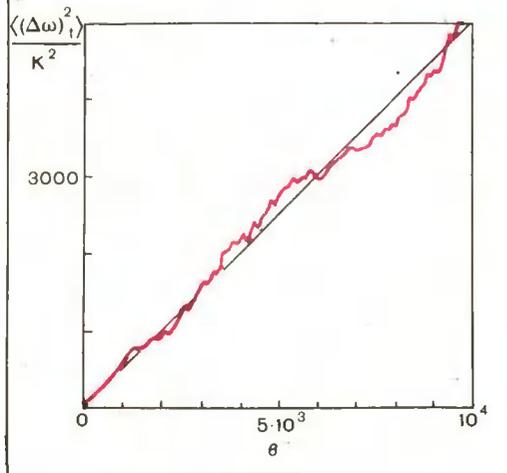
<sup>6</sup> Чириков Б. В. Нелинейный резонанс. Новосибирск, 1977, с. 31; Chirikov B. V. — Phys. Reps., 1979, v. 52; № 5, p. 278.



а



б



Результаты численного итерирования стандартного отображения  $\tilde{\omega} = \omega + K \sin \theta, \tilde{\theta} = \theta + \tilde{\omega}$  на ЭВМ. Участок фазовой плоскости [а] стандартного отображения при  $K=1,13$ : область стохастического движения заштрихована и по площади примерно равна дополнительной области устойчивого [квазипериодического] движения. При  $K=5$  область стохастического движения занимает уже 98% всей площади. Движение в этой области становится неограниченным при  $K > 1$  и имеет характер диффузии по  $\omega$ . Отдельные стохастические траектории (цветные линии на рис. б) существенно нерегулярны, однако среднее значение  $\langle (\Delta\omega)_i^2 \rangle$ , вычисленное по 100 траекториям с различными начальными условиями (цветная линия на рис. в), растет приблизительно пропорционально времени  $i$ , которое измеряется в числе итераций отображения;  $\langle (\Delta\omega)_i^2 \rangle / K^2 = i/2$  дает среднюю скорость диффузии для случайных значений фазы  $\theta$ . Этой прямой на рисунке [в] соответствуют две пунктирные кривые [среднеквадратичные флуктуации  $(\Delta\omega)_i$ ]; штрихпунктирные кривые показывают асимптотически максимальные флуктуации  $\{(\Delta\omega)_{\max}^2 / \langle (\Delta\omega)_i^2 \rangle \rightarrow 2 \ln \ln i; i \rightarrow \infty\}$ . Функция распределения  $\{(\Delta\omega)_i, i\}$  — вероятность различных значений  $(\Delta\omega)_i$ , — близка к гауссовой (прямая на рис. г). Данные на рис. б, в и г получены при  $K=5$ .

Посмотрим прежде всего, какие резонансы действуют в рассматриваемой модели. Условие резонанса состоит в том, чтобы фаза возмущения изменялась между толчками на величину, кратную  $2\pi$ . Это дает для резонансного значения частоты выражение  $\omega_r = p\Omega = 2\pi p$ , где  $p$  — любое целое число, а  $\Omega$  — основная частота внешнего возмущения (толчков), равная в данном случае  $2\pi$ . Итак, резонансов теперь бесконечно много и все они расположены на одинаковом расстоянии друг от друга:  $\delta\omega = 2\pi$ . Поскольку ширина каждого резонанса ( $\Delta\omega \approx 4\sqrt{K}$ ) растет с ростом возмущения, ясно, что при достаточно большом  $K$  (большем, чем  $\pi^2/4$ ) вместо стабилизации резонансного возмущения движение будет совершенно иным.

Качественно его можно представить себе следующим образом. Пусть вначале система находилась точно в одном из резонансов ( $\omega_0 = 2\pi p_0$ ). Под действием возмущения система, как и прежде, начнет выходить из этого резонанса, однако, в отличие от случая единственного резонанса, она попадет теперь в область соседнего резонанса. После этого, в зависимости от конкретных значений фазы, система может либо вернуться назад, в исходный резонанс, либо проследовать дальше, в область соседнего резонанса. Такая ситуация называется переключением резонансов. То, что при этом траектория движения будет иметь довольно сложный вид, кажется вполне понятным. Удивительно другое — при  $K \gg 1$  движение модели, заданной стандартным отображением, допускает очень простое статистическое описание. Согласно множеству численных экспериментов<sup>9</sup>, последовательные значения фазы  $\theta$  в этом случае можно с хорошей точностью считать случайными и независимыми, равномерно распределенными во всем интервале  $(0, 2\pi)$ . В свое время все это казалось настолько странным, что многие просто отказывались верить, искали какие-то побочные эффекты, например ошибки счета (в частности, округления<sup>10</sup>), чтобы как-то понять простой и ясный результат числен-

ного моделирования стандартного отображения — случайный характер движения этой несложной на вид и, казалось бы, полностью детерминированной системы.

Статистические свойства стандартного отображения характеризуются, в частности, тем, что изменение частоты  $\omega$  от времени происходит по закону диффузии со скоростью

$$D = \frac{\langle (\Delta\omega)_t^2 \rangle}{t} \approx \frac{K^2}{2} \quad (K \gg 1).$$

Здесь  $(\Delta\omega)_t$  — изменение  $\omega$  за  $t$  итераций (периодов отображения,  $t \rightarrow \infty$ ), а усреднение производится по многим траекториям с произвольными начальными условиями или по отрезкам одной стохастической траектории. Диффузия означает, в свою очередь, аperiodическое убывание автокорреляций фазы, а значит, и непрерывный спектр движения. В этом — одно из характерных отличий стохастического движения от регулярного (квазипериодического), спектр которого является дискретным. Более того, вероятность различных значений  $(\Delta\omega)_t$ , флуктуации диффузии, описываются законом Гаусса:

$$f((\Delta\omega)_t, t) = \frac{e^{-(\Delta\omega)^2/2Dt}}{\sqrt{2\pi Dt}}.$$

Это уже очень сильное статистическое свойство, именуемое в теории вероятностей центральной предельной теоремой.

#### НЕСКОЛЬКО СЛОВ О ПРИРОДЕ ХАОСА

Многочисленные исследования, подобные описанным выше, убедительно свидетельствуют, что при определенных условиях движение даже очень простых (с малым числом степеней свободы) динамических систем удивительно похоже на случайное. Более глубокое изучение этого вопроса привело к неожиданному выводу: такое движение не только похоже, но и принципиально неотличимо от случайного. Этот фундаментальный результат получается при так называемом алгоритмическом подходе к теории динамических систем, который сравнительно недавно был

<sup>9</sup> Там же.

<sup>10</sup> Не имея возможности подробно обсуждать здесь этот интересный вопрос, заметим только, что так называемые ошибки округления на цифровой ЭВМ приводят к прямо противоположному результату — после достаточно большого числа итераций любая траектория становится периодической! Этот неожиданный на первый взгляд результат, вообще говоря, хорошо известен из теории и практики так называемых генераторов псевдослучайных чисел (см., напр.: Голенико Д. И. Моделирование и статистический

анализ псевдослучайных чисел на ЭВМ. М., 1965, с. 59). Применительно к численному моделированию динамических систем этот вопрос обсуждается в работах: Раппоу F.— Astron. and Astrophys., 1974, v. 31, p. 289; Израйлев Ф. М., Чириков Б. В., Шепелянский Д. Л. Переходная стохастичность в квантовой механике. Препринт Института ядерной физики. Новосибирск, 1980, № 80—210, с. 33.

предложен А. Н. Колмогоровым и развивается его учениками и последователями<sup>11</sup>.

Откуда же берется все то бесконечное разнообразие и невообразимая сложность, которые мы привыкли ассоциировать со случайными процессами? Оказывается, что источником и первопричиной случайности является непрерывность фазового пространства динамической системы (т. е. обычного пространства и пространства скоростей, или, точнее, импульсов системы). Именно в силу этой непрерывности начальные условия движения, те самые, которые полностью определяют все прошлое и будущее детерминированной системы, задаются в виде нескольких иррациональных чисел, т. е. в виде бесконечной непериодической последовательности цифр. Эта последовательность и содержит в себе уже с самого начала весь будущий (и прошлый) случайный процесс на данной траектории. Иными словами, почти любая точка непрерывного пространства уже таит в себе бесконечный случайный процесс. Оговорка «почти» относится к некоторым исключительным точкам (которые отсутствуют, например, рациональным числам), однако фундаментальным свойством непрерывного пространства является то, что все эти особые (неслучайные) точки составляют, как говорят, множество меры нуль, т. е. их «общий объем» в пространстве равен нулю.

Роль динамической системы в этой картине сводится лишь к «развертыванию» микроскопической случайности начальной точки траектории в макроскопическую случайность движения по этой траектории<sup>12</sup>. Это достигается с помощью меха-

низма локальной неустойчивости движения, т. е. очень быстрой (экспоненциальной) расходимости близких траекторий. Такая неустойчивость как раз и приводит к тому, что рано или поздно движение системы будет определяться сколь угодно мелкими деталями начальных условий. Ясно поэтому, что локальная неустойчивость движения является главным условием случайности в динамической системе<sup>13</sup>.

Существенно, что эта же самая локальная неустойчивость траекторий обеспечивает устойчивость всех статистических характеристик движения (средних значений величин, функций распределения и пр.) по отношению к малым изменениям как начальных условий, так и любых возмущений системы. Это чрезвычайно важное свойство стохастического движения было выяснено в работах Д. В. Аносова<sup>14</sup>. Механизм такой «статистической устойчивости» можно наглядно представить себе следующим образом. Из-за сильной локальной неустойчивости движения в малой окрестности одной из траекторий системы всегда можно найти начальные условия, соответствующие и любой другой траектории этой системы. Поэтому малое возмущение лишь как бы «переставляет» траектории, слегка сдвигая соответствующие им начальные условия.

## НЕКОТОРЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

Как отмечалось выше, многие конкретные задачи нелинейной динамики могут быть сведены (приближенно) к стандартному отображению. Примером служит движение заряженной частицы в так называемой ловушке с магнитными пробками (пробкотроне). Такое устройство было придумано около 30 лет назад Г. И. Будкером в СССР и независимо Р. Ф. Постом в США как метод удержания горячей плазмы для осуществления управляемого термоядерного синтеза<sup>15</sup>.

Удержание частиц вдоль магнитных линий пробкотрона происходит за счет адиабатического (приближенного) сохранения орбитального магнитного момента частицы  $\mu$ . Вследствие резонансов между

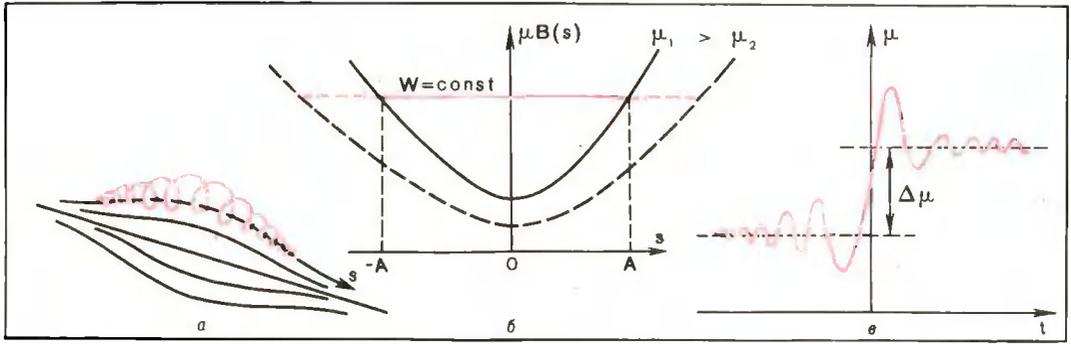
<sup>11</sup> Автору неизвестно сколько-нибудь доступное изложение этого нового и очень интересного направления. Тем не менее некоторое общее представление об этом круге идей при желании можно составить, например, из следующих математических работ, содержащих также и неформальные разъяснения: Алексеев В. М.; Якобсон М. В. Символическая динамика и гиперболические динамические системы. Добавление в книге: Р. Боуэн. Методы символической динамики, М., 1979, с. 198; Брудно А. А. Энтропия и алгоритмическая сложность траекторий динамической системы. Препринт ВНИИ системных исследований, М., 1980.

<sup>12</sup> В таком качестве сама по себе динамическая система (и уравнения ее движения) может быть и очень простой — факт, казавшийся еще недавно столь парадоксальным. Теперь мы понимаем, что простота системы лишь маскирует истинный источник случайности ее движения.

<sup>13</sup> См. сноски 2, 3.

<sup>14</sup> Аносов Д. В.: Геодезические потоки на замкнутых римановых многообразиях отрицательной кривизны. — Труды Мат. ин-та им. В. А. Стеклова, 1967, № 90.

<sup>15</sup> О ловушках с магнитными пробками см.: Чуянов В. А. Второе рождение открытых ловушек. — Природа, 1982, № 2, с. 2.



Движение заряженной частицы в магнитной ловушке Будкера. Схема траектории (а) — спираль между точками отражения, нависающая на магнитную линию;  $s$  — координата вдоль магнитной линии. Эффективная потенциальная энергия продольных колебаний  $\mu B(s)$  (б) пропорциональна магнитному моменту частицы  $\mu$  и напряженности магнитного поля  $B(s)$ . В адиабатическом приближении ( $\mu = \text{const}$ ) продольные колебания ограничены точками отражения  $s = \pm A$ . Вследствие резонансов между ларморовским вращением и продольными колебаниями  $\mu$  может уменьшаться, что приводит к росту амплитуды  $A$  продольных колебаний. Оказывается, что основное изменение  $\mu$  за один пролет частицы вдоль магнитной линии происходит в окрестности минимального значения  $B$  в точке  $s=0$  [в] и может быть приближенно описано стандартным отображением. При определенных условиях изменения  $\Delta\mu$  накапливаются за много пролетов случайным образом, что приводит к диффузии по  $\mu$  и по  $A$ , и, в конечном счете, к потерям частиц вследствие ухода их через пробки [вдоль магнитных линий].

ларморовским вращением и продольными колебаниями частицы величина  $\mu$  медленно изменяется. Этот процесс (в аксиально симметричном пробкотроне) приближенно описывается стандартным отображением. В результате можно найти условия удержания частицы в ловушке, которые неплохо согласуются с результатами численного моделирования<sup>16</sup>. Буквально та же задача возникает и при исследовании динамики протонов высоких энергий в радиационных поясах Земли<sup>17</sup>.

Остановимся более подробно еще на одном приложении резонансного анализа, на этот раз к изучению тонкой структуры самого нелинейного резонанса. Один резонанс — это «маятник», движение которого является просто периодическим (колебания или вращение). Ну, а если добавить малое возмущение, причем далекое от

резонанса, например с большой частотой  $\Omega \gg \sqrt{F} = \Omega_0$ ?

Пусть уравнение движения имеет вид ( $M=1$ ):

$$\ddot{\theta} = -G \sin \theta + G[\sin(\theta - \Omega t) + \sin(\theta + \Omega t)].$$

Здесь  $G, \Omega$  — соответственно амплитуда и частота возмущения. В механической модели маятника такое возмущение может соответствовать, например, быстрой вибрации его точки подвеса, а в картине взаимодействия резонансов — возмущению одного из резонансов остальными вдали от перекрытия резонансов, т. е. в условиях, когда каждый резонанс можно, казалось бы, рассматривать отдельно. Будет ли при этом движении всюду регулярным, как в случае единственного резонанса? Оказывается, что нет. На месте невозмущенной сепаратрисы маятника образуется стохастический слой со случайным движением. В рассматриваемом примере ширина этого слоя есть<sup>18</sup>:

$$(\Delta W) \approx 8\pi G \left(\frac{\Omega}{\sqrt{F}}\right)^3 \exp\left(-\frac{\pi}{2} \frac{\Omega}{\sqrt{F}}\right).$$

Она определяется, в основном, амплитудой этого же резонанса  $F$  или, точнее, отношением частот ( $\Omega/\Omega_0 \approx 1/\sqrt{F}$ ) возмущения со стороны других резонансов (взаимодействие резонансов!) и фазовых колебаний на данном резонансе. При  $F \rightarrow 0$  ( $\Omega/\Omega_0 \rightarrow \infty$ ) ширина слоя становится экспоненциально малой, однако он сохраняется при сколь угодно слабом взаимодействии резонансов и в этом смысле является универсальным.

<sup>16</sup> Чириков Б. В. — Физика плазмы, 1978, т. 4, № 3, с. 527; Chirikov B. V. — Phys. Rep., 1979, v. 52, № 5, p. 292.

<sup>17</sup> Ильин В. Д., Ильина А. Н. — ЖЭТФ, 1977, т. 72, вып. 3, с. 983.

<sup>18</sup> Приведенная формула справедлива при условии  $G/F \ll 1$ . При  $G/F \gg \Omega/\sqrt{F}$  образуется вторая устойчивая область вокруг  $\theta = \pi$  (помимо обычной области вокруг  $\theta = 0$ ) — так называемый маятник Капицы. Эта область сохраняется до значений  $G \ll \Omega^2$ . Конфигурация стохастического слоя при этом существенно изменяется.

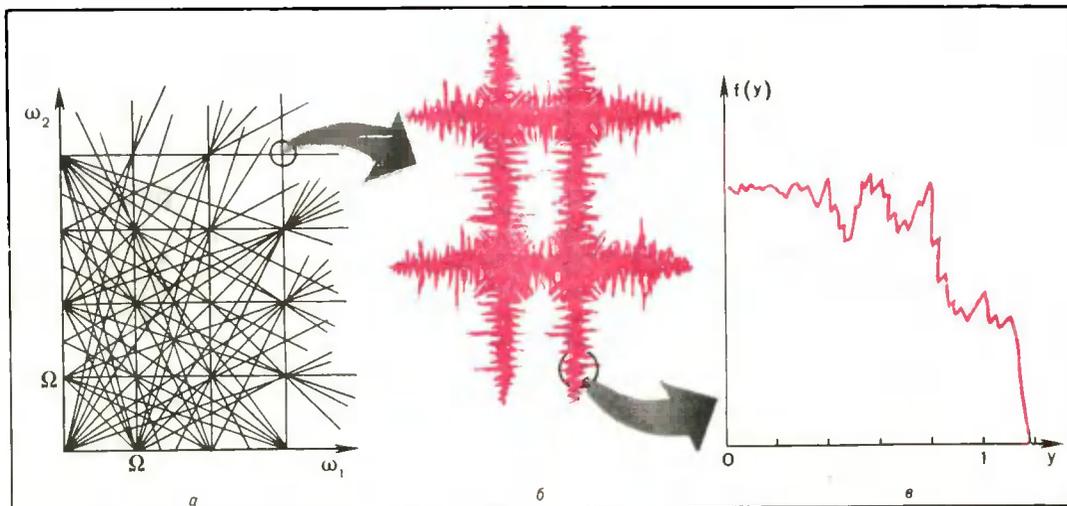
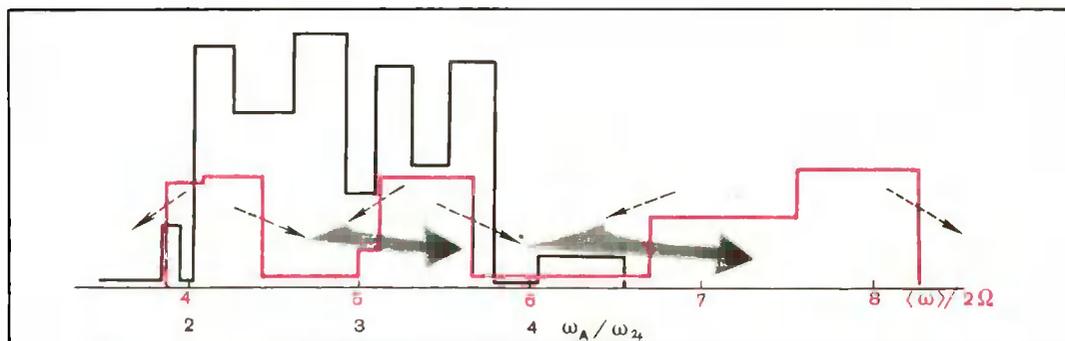


Схема резонансов  $n_1\omega_1 + n_2\omega_2 + n\Omega = 0$  [а] для осциллятора с двумя степенями свободы ( $\omega_1, \omega_2$  — основные невозмущенные частоты), находящегося под действием внешнего возмущения с основной частотой  $\Omega$  ( $n_1, n_2, n$  — целые числа). Под действием возмущения осциллятор движется таким образом, что все время сохраняется одно из резонансных соотношений между частотами. Это движение оказывается стохастическим и называется диффузией Арнольда. В точках пересечения нескольких резонансных линий происходит случайный переход на одну из них. На схеме показаны наиболее сильные резонансы, которые соответствуют малым  $n_1, n_2$  и  $n$ . Полная система резонансов покрывает плоскость  $\{\omega_1, \omega_2\}$  всюду плотно, однако скорость диффузии быстро падает с ростом  $n_1, n_2$  и  $n$ . Движение вдоль любой горизонтальной прямой [ $n_2=0$ ] вызывает изменение только частоты  $\omega_1$  [и соответствующее изменение энергии

осциллятора], а движение вдоль вертикальной прямой [ $n_2=0$ ] — только частоты  $\omega_2$ . Для остальных резонансов изменяются обе частоты. Более детальная структура пересечения двух резонансов [б] показывает, что диффузия идет фактически по тонким стохастическим слоям [цветные области на рис. б]. Хотя относительная площадь стохастических слоев мала, они играют роль плотной системы «стоков», попав в которые [под действием любого слабого внешнего «шума»], система может относительно быстро перемещаться затем по системе пересекающихся слоев. Структура отдельного стохастического слоя [а] выявляет однородную центральную часть слоя [ $|y| \leq 0,4$ ] с относительно быстрой диффузией и сложную периферическую часть; здесь  $i(y)$  — равновесная функция распределения в зависимости от координаты  $y$  поперек слоя, измеренной в единицах теоретической полуширины слоя.



Распределение электронов в магнитной ловушке — цветная линия [Пономаренко В. Г., Трайнин Л. Я., Юрченко В. И. — ЖЭТФ, 1968, т. 55, с. 3] — и астероидов в Солнечной системе [ $\Omega$  — частота продольных колебаний электрона;  $\omega$  — ларморовская частота, усредненная по продольным колебаниям;  $\omega_A, \omega_\Omega$  — частоты астероида и Юпитера]. В принятой нормировке равновесное распределение не зависело бы от частоты. На самом деле для обоих распределений характерны глубокие «прова-

лы» в окрестности целых и дробных [для астероидов] резонансов. «Провалы» вызваны, возможно, диффузией Арнольда вдоль этих резонансов. В случае электронов рассеяние на остаточном газе в камере ловушки приводит к диффузионному потоку в «провалы» [пунктирные стрелки], который продолжается затем вдоль резонансов [сплошные стрелки] до выхода из ловушки. Аналогичный механизм действует, возможно, и в Солнечной системе.

Необычайная сложность движения в окрестности сепаратрисы была известна еще А. Пуанкаре, который писал: «Сложность этой картины движения настолько поражает, что я даже и не пытаюсь изобразить ее»<sup>19</sup>. Это сделал (много позднее) В. К. Мельников, и с тех пор его эскизы обошли многие книги и статьи по теории нелинейных колебаний. Впоследствии расположение траекторий вблизи сепаратрисы было точно рассчитано на ЭВМ и оказалось удивительно похожим на эскизы Мельникова. Однако строгую оценку ширины стохастического слоя до сих пор получить не удалось, а приведенный выше результат основан на приближенном описании движения в окрестности сепаратрисы нелинейного резонанса с помощью стандартного отображения.

В системах с числом степеней свободы  $N \leq 2$  стохастические слои не играют существенной роли, так как движение в них хотя и нерегулярно, но строго ограничено пределами слоя. Однако при  $N > 2$  ситуация кардинально изменяется. Теперь уже взаимодействие резонансов приводит к блужданию не только поперек узкого слоя, но и вдоль него, т. е. приблизительно вдоль резонанса. А так как при  $N > 2$  различные резонансы пересекаются друг с другом в фазовом пространстве системы, то возникает хотя и медленное, но неограниченное блуждание системы по резонансам, получившее название диффузии Арнольда — по имени советского математика В. И. Арнольда, который предсказал этот удивительно красивый механизм нелинейной динамики и продемонстрировал его на простой модели<sup>20</sup>.

Эффективная оценка скорости диффузии Арнольда чрезвычайно сложна. Строгая оценка сверху получена Н. Н. Нехорошевым, учеником Арнольда. Хотя в некоторых случаях упрощенные оценки неплохо согласуются с численным моделированием диффузии Арнольда, сколько-нибудь полный анализ реальных экспериментов провести пока не удалось. Тем не менее ряд качественных соображений указывает на существенную роль диффузии Арнольда как в лабораторных экспериментах по динамике заряженных частиц в магнитных ловушках, так и в радиационных поясах Земли. Не исключено также, что подобный или

близкий механизм ответствен и за образование так называемых «люков», или «провалов», в распределении астероидов на частотах, соответствующих наиболее сильным резонансам с Юпитером.

## ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Итак, тайна случайности разгадана, разгадана настолько, что теперь уже, по мнению автора, само определение случайного наиболее естественно давать, опираясь именно на такой стохастический предельный случай детерминированного динамического процесса. Что же дальше? Приложения в механике, физике, химии, биологии, экономике...? Конечно! Но не только это. Сейчас самое время напомнить, что вся эта красивая случайная динамика относится только к классической механике, которая является не более чем весьма грубым, вообще говоря, приближением к действительности. Сохраняется ли динамическая стохастичность в квантовой механике? Такой вопрос был поставлен Н. С. Крыловым<sup>21</sup> около 35 лет тому назад. Он же дал на него и четкий отрицательный ответ, который с тех пор не изменился. Увы, дискретность спектра любой ограниченной в фазовом пространстве квантовой системы, равно как и дискретность самого фазового пространства в квантовой механике, полностью исключают и экспоненциальную локальную неустойчивость движения, и диффузию, и гауссовы флуктуации, не говоря уже о настоящей случайности. Остается только эргодичность — самое слабое из статистических свойств, на котором остановилась старая эргодическая теория. Спираль познания сделала полный виток, и все надо начинать сначала... Но это уже другая история.

<sup>21</sup> См. сноску 4.

<sup>19</sup> Пуанкаре А. Избранные труды. М., 1972, т. II, с. 339.

<sup>20</sup> Арнольд В. И. — Доклады АН СССР, 1964, т. 156, № 1, с. 9; см. также: Chirikov B. V. — Phys. Repts., 1979, v. 52, № 5, p. 346.

## Загадочные памятники Хоккайдо

Р. С. Васильевский



Руслан Сергеевич Васильевский, доктор исторических наук, исполняющий обязанности директора Института истории, филологии и философии Сибирского отделения АН СССР; исследует древние культуры Северной Азии и Тихоокеанского бассейна, участвовал в раскопках на Алеутских о-вах и северном Хоккайдо. Монографии: *Древние культуры Тихоокеанского бассейна*. Новосибирск, 1973; *Древние поселения Сахалина*. Новосибирск, 1976; *Северная Азия на заре истории* (совместно с А. П. Окладниковым). Новосибирск, 1980; *По следам культур Хоккайдо*. Новосибирск, 1981.

Среди археологических провинций Северной и Восточной Азии в последние годы большое внимание привлекает Японский архипелаг, где открыты сотни памятников истории и культуры, относящихся к различным историческим периодам от эпохи древнекаменного века (палеолита, ок. 20—10 тыс. лет назад) до айских поселений XVI—XVII вв. Для исследователей, занимающихся изучением ранней истории Дальнего Востока и Сибири, особый интерес представляют древние памятники Хоккайдо, в типах каменных орудий которых и в способах их обработки прослеживаются признаки, связывающие их с культурами Азиатского материка. Много изделий, аналогичных хоккайдским, обнаружено на палеолитических и мезолитических стоянках Приморья, Сахалина. И это не удивительно. Около 18—16 тыс. лет назад о-в Хоккайдо представлял собой оконечность вытянутого на север огромного полуострова, соединенного через Сахалин с Азиатским континентом. Проливы Лаперуза и Татарский тогда еще не существовали, и люди вслед за животными могли свободно переходить по этому сухопутному мосту.

Связи между материковыми культурами и культурами Хоккайдо продолжались и в более позднее время. На это, в частности, указывают памятники культуры дзёмон (8—2 тыс. лет назад) северо-восточного Хоккайдо, в материалах которых ощущается влияние неолитических культур Приморья, Приморья, Кореи. Среди разнообразных памятников дзёмона Японии обращают внимание своеобразные сооружения в виде каменных кольцевых оград или кругов.

Иногда они представляют сложные системы уложенных в определенном порядке достаточно крупных камней. Камни образуют правильные круги, внутри которых по периметру через равные промежутки возвышаются небольшие курганчики, тоже выложенные камнем. На континенте такие сооружения обычно связываются с погребениями. Можно вспомнить, например, грандиозные гробницы кочевников бронзового века Центральной Азии с их каменными курганами и оградами.

На севере Японских о-вов в настоящее время известно более 60 памятников с «каменными курганами». Они обнаружены на Хоккайдо и в северной части Хонсю, в основном на территории префектур Аомори, Акита, Тохоку, Нагано. Выглядят они по-разному; различно, по-видимому, и их смысловое значение. В префектуре Акита, например, есть «каменный круг», названный Нонакадо. Он расположен на 170-метровой речной террасе и представ-

мон (8—2 тыс. лет назад) северо-восточного Хоккайдо, в материалах которых ощущается влияние неолитических культур Приморья, Приморья, Кореи. Среди разнообразных памятников дзёмона Японии обращают внимание своеобразные сооружения в виде каменных кольцевых оград или кругов.

ляет собой довольно сложное сооружение. Это большая овальная площадка 41,5Х Х 38,5 м, огражденная округлой выкладкой из камней. Внутри большого круга выложен второй круг. В северо-западной части первого круга стоит каменный столб, вокруг которого радиально расположены продолговатые крупные камни, а все построение тоже заключено в кольцо из камней. (Сооружение это напоминает знаменитый английский Стоунхендж, вызвавший в свое время много шума и споров.) Японские археологи называют каменные концентрические кольца и столбы Нонакадо «солнечными часами». Они отмечают, что в ориентации фигур этого сооружения отражены особенности движения Солнца. Но так ли это, остается пока загадкой. Хотя и не исключено, что сооружение Нонакадо было святилищем солнечного культа.

В Тохоку и в Тюбу тоже обнаружены «каменные кольца», которые состоят из серий расположенных по кругу «каменных куч» и столбов. Под отдельными кладками были овальные ямы глубиной до метра. Однако это не погребения. Известный японский археолог Тосио Оба предполагает, что ямы — древние святилища культа почитания камней.

Известно, что древнейшие формы японской религии связаны с шаманством. Многие шаманские элементы, в частности культ сил природы, вошли в официальную религию японцев — синтоизм. Мир древнего японца был населен множеством божеств — «ками». Они могли быть добрыми и злыми. Существовали «ками» гор, камней, рек, деревьев и т. д. Считалось, что от них зависело благополучие людей. Отсюда — дожившие до наших дней различные общепонские святыни. Например, «священные горы» с наиболее почитаемой из них знаменитой Фудзиямой. Даже сегодня, перед тем как совершить восхождение на Фудзи, в некоторых крестьянских семьях постятся.

Всему миру известен японский «сад камней», явно имеющий древний религиозный субстрат. А в отдаленных местах на островах можно встретить кольцеобразные бамбуковые изгороди — знак того, что здесь обитает «кам». Думается, все сохранившиеся до наших дней «священные горы», «священные камни», «священные пихты» отражают древние традиции восприятия окружающего мира. Корни их восходят к эпохе неолита (2 тыс. лет до н. э.), к тем «каменным кругам» и «каменным кучам», которые находят археологи.

Иной характер, чем сооружения из камня Нонакадо, Тохоку и Тюбу, имеют «каменные круги», открытые на Хоккайдо. На этом северном острове Японского архипелага они известны в нескольких местах. Их можно увидеть около г. Отару (Микасаяма), у г. Энива (Касиваги), на п-ове Сирэтоко (Сюзэн), в Отоэ, Готэньяме, Осеро. Относятся они к позднему периоду культуры дзёмон (неолит).

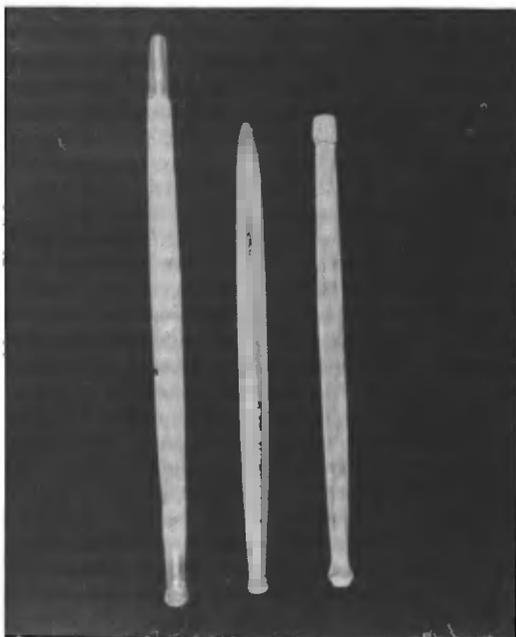
Большой резонанс среди японской общественности вызвали раскопки «каменных кругов» Сюзэн. Этот уникальный памятник находится на высокой террасе в окрестностях небольшого поселка Сюзэн в юго-западном углу охотского побережья п-ова Сирэтоко. Первые известия о необычной находке поступили от крестьян обрабатывавших на террасе Курисава свои огороды. Археологи, осмотрев кольцевую земляную насыпь, обратили внимание на небольшой каменный круг внутри нее. Первым предположением было то, что открыты еще одни «странные камни». Однако «странные камни» Сюзэна оказались с сюрпризом. Под ними находились погребения. Естественно, после такого открытия развернулись интенсивные раскопки. Результаты не заставили себя ждать. В нескольких метрах к западу от первого земляного круга археологи нашли второй круг диаметром 32 м, а внутри него — 20 «каменных колец». В плане такие «кольца» имели круглую, овальную или прямоугольную форму. Размеры их варьировали от 2,5 до 7 м в диаметре. Внутри каждого такого «кольца» или оградки возвышался небольшой курган, выложенный камнями. Под курганами находились разной величины (от 0,83Х0,60 м до 3,3Х1,3 м) могильные ямы овальной или круглой формы, глубиной 1,5 — 2 м. При раскопках выяснилось, что в маленьких ямах хоронили одного человека, а в больших — трех и более. Несмотря на то что большинство скелетов сохранилось плохо, все же удалось установить способ захоронения. В основном покойников хоронили в скорченном положении, головой на запад. Дно могильных ям густо засыпалось охрой, считавшейся у многих народов краской мертвых.

При разработке погребений археологам тоже сопутствовала удача: было собрано множество глиняных сосудов и глиняных «колокольчиков», шлифованных каменных топоров и тесел, каменных кнопочных ножей и наконечников стрел, разнообразных бус из зеленой и коричневой яшмы, змеевика, стеатита, подвесок



«Солнечные часы» Нонакадо. Вокруг каменного столба радиально расположены продолговатые крупные камни. Все построение, в свою очередь, заключено в кольцо из камней.

Каменные палки — сэкибо из Касиваги, предназначенные [предположительно] для совершения обряда оплодотворения земли.



из зубов акулы, орнаментированная глиняная пластина, а также три каменных дубинки — сэкибо. Кроме того, на одном из скелетов сохранились остатки обгоревшей ткани. По мнению японских археологов, она похожа на айскую «ацуси» — ткань, сделанную из волокон коры дерева ильмы.

Летом 1977 г. около г. Энива в 25 км к югу-востоку от г. Саппоро, почти в центре равнины Исикари были проведены раскопки еще одного памятника с кольцевыми насыпями, получившего название Касиваги. В процессе раскопок Касиваги на глубине 30—35 см от поверхности обнаружена земляная насыпь высотой до 45 см, имевшая в плане форму круга с внешним диаметром 20—21 м и внутренним 12 м. Внутри кольцевой насыпи и у края ее внешнего вала открыто 44 погребения. Погребения были засыпаны камнями и имели вид небольших курганов. Под каменными кладками вскрыты могильные ямы. В большинстве случаев они имели в плане форму вытянутых эллипсов, ориентированных на запад и северо-запад. Сопровождающие захоронения вещи очень разнообразны: глиняные горшки типа цубо (с перехватом на шейке), сосуды с носиком, миски, ритуальные сосуды, украшенные резным орнаментом, каменные топоры, кинжалы, наконечники стрел, украшения.

Раскопки в Сюэне и Касиваги со всей наглядностью показали, что земляные кольцевые насыпи и каменные круги или оградки не что иное, как могильники, настоящие некрополи неолитического времени с определенной системой захоронений и определенным погребальным ритуалом.

Самый крупный могильник такого типа был исследован на холме Готэньяма. Его раскопки велись в течение десяти лет. Открыто около 100 погребений с богатым инвентарем.

Обычно японские археологи находили грунтовые погребения без каких-либо насыпей и других отличительных знаков на поверхности. Именно такие захоронения характерны для раннего и среднего периодов дзёмона. Погребальные обря-

Склон сопки Микасаяма, где среди деревьев открыты каменные круги.

Могильник Касиваги во время раскопок. Каждая из могильных ям была перекрыта каменной насыпью.



ды Сюэна, Касиваги и Готэньямы значительно отличались от таких известных «классических» могил. Они знаменовали собой какой-то кардинальный поворот в самом развитии культуры дзёмон. Примечательно, что эволюция от обычных грунтовых погребений к крупным могильникам завершалась именно на Хоккайдо — острове, наиболее близко расположенном к Евразийскому материку.

Уже первое знакомство с некрополями Сюэна и Готэньямы вызывало ассоциации с курганными могильниками степных стран Азии эпохи неолита, бронзового и раннего железного веков. Особенно близкими кольцевым оградкам и каменным курганам Хоккайдо казались сибирские памятники афанасьевского и андроновского времени (2—1 тыс. лет до н. э.), хронологически предшествующие или синхронные позднему дзёмону Японии.

Поэтому естественно было предположить, что появление курганных могильников на Хоккайдо вызвано приходом новых племен со своими обычаями и верованиями. Конечно, здесь мог иметь место и медленный процесс постепенной инфильтрации пришлого населения. В истории подобные случаи известны и теоретически могли быть и на Хоккайдо. Именно так на первых этапах исследований и истолковывались находки в Сюэне и Готэньяме. В японской археологической литературе появилось немало сложных миграционных построений о пришельцах из азиатских степей.

Однако, чтобы уверенно обосновать такую гипотезу и доказать, что источник изменений в образе жизни населения Хоккайдо лежал не внутри, а вне Японских о-вов, необходимо обнаружить, насколько изменился антропологический тип аборигенного населения по сравнению с более ранним временем. Таких доказательств в распоряжении японских археологов нет. Они пока не могут уверенно объяснить причины внезапного появления в позднем дзёмоне Северной Японии каменных кругов и курганов. Памятники такого рода по-прежнему остаются во многом непонятными и даже странными.

Немало и других загадок таят погребения позднего дзёмона о-ва Хоккайдо. В похоронной обрядности неолитического населения ярко выражены определенные идеи, тесно связанные с понятиями и мировоззрением людей каменного века. Прежде всего, это идея о том, что жизнь и смерть неотделимы друг от друга, что земля живых и таинственный мир мертвых тесно

связаны между собой, ибо смерть человека означает его рождение в ином мире, откуда неизбежен возврат на землю. Символом такого вечного круговорота, перевоплощения душ умерших сородичей в живых членов рода было Солнце. Люди каменного века наблюдали, как оно ежедневно «умирает» на западе, а затем снова появляется на востоке. По аналогии с конкретным образом Солнца мыслилась и судьба человека. Возможно, исходя именно из такого понятия, строились кольцевые каменные ограды и круги, символизирующие тот же солнечный диск.

О сородичах, уходящих в «мир мертвых», древние люди проявляли трогательную заботу. Их снабжали одеждой, пищей, оружием и другой необходимой утварью. Ведь, родившись для новой жизни в «утреннем мире», души мертвых во всем этом будут испытывать нужду. Такие представления в развитом каменном веке бытовали почти у всех племен земного шара. Не являлись исключением в этом отношении и племена Хоккайдо. Они тоже заботливо снаряжали своих сородичей «на тот свет», поэтому в могилах так много самых различных вещей. Естественно, что критерий ценностей у неолитических племен был иным, чем у нас. Дороже золота и серебра они ценили изделия из камня, особенно из нефрита, яшмы. Бусы и подвески из этих полудрагоценных камней археологи часто находят в погребениях.

Интересно, что в Сюэне рядом с такими украшениями лежали тщательно отполированные странные длинные (до 70 см) и тонкие (диаметром около 4 см) каменные палки или дубинки. Один конец у них оформлен в виде головки фаллоса. Японские археологи называют такие каменные палки «сэкибо». Сэкибо в погребениях культуры дзёмон на Хоккайдо находят довольно часто. В Сюэне было найдено три таких изделия, еще два целых и несколько фрагментов обнаружено в Готэньяме:

Шесть прекрасных сэкибо японские археологи обнаружили при раскопках курганного могильника Касиваги.

Сэкибо, относящиеся к позднему дзёмону (2 тыс. лет до н. э.), как правило, имеют длину 50—80 см, в памятниках среднего дзёмона (4 тыс. лет до н. э.) встречаются и более крупные образцы — до 2 и даже 2,5 м. Эти диковинные каменные изделия привлекают внимание не только своей формой, но и совершенной отделкой.

Назначение сэкибо объясняли по-разному. Одни исследователи видели в этих фаллических изображениях лишь предметы эротических культов, другие связывали их с культом плодородия, с идеей взаимодействия плодородия земли и человека. Чтобы понять, каким целям служили сэкибо, необходимо обратиться к этнографическим материалам.

Этнографами собраны обширные данные о фаллическом культе, широко распространенном в прошлом у земледельческих племен периода расцвета первобытного строя<sup>1</sup>. В основе этого культа лежал один из главных принципов магии: «подобное вызывает подобное». Люди наивно полагали, что реальное или символическое бракосочетание стимулирует воспроизводство растений, и старались таким образом обеспечить успех своей хозяйственной деятельности. У племен Новой Гвинеи, например, существовал обычай, посвященный началу полевых работ: перед началом сева муж с женой сочетались на поле. После этого муж фаллообразной палкой-копалкой делал ямки для посадки растений.

Подобные обычаи были распространены и у других племен Юго-Восточной Азии. Нередко эти индивидуальные обряды объединялись в массовые церемонии, в которых участвовала вся община. Причем обряд начинала пожилая пара, а за ней следовали и остальные члены общины.

Этнограф Ж. Кондоминас описал обряд мнонгаров Вьетнама, связанный с возделыванием рисовых полей<sup>2</sup>. При этом обряде посадки риса воспроизводились как акт оплодотворения земли с помощью деревянного шеста-фаллоса.

Развитые аграрные культы с совершением половых актов в поле отмечались исследователями у народов Ближнего Востока и Кавказа, Средней Азии и Индостана, Африки и Мезоамерики. Пережитки их нашли отражение и в мифологии Древней Греции. Суть всех этих культов одинакова — магическими действиями влиять на производящие силы природы.

Внимательное изучение аграрных церемоний вместе с тем показывает, что корни фаллических обрядов уходят в глубь веков к охотничье-промысловым культурам.

В связи с этим небезынтересно вспомнить весенние празднества у индейцев — охотников на бизонов Северной Америки. Во время этих празднеств-игрищ мужчины, переодетые бизонами, использовали искусственные фаллосы для имитации магического оплодотворения самок бизонов. По их представлениям, эти действия способствовали размножению животных.

Во время наших собственных раскопок в Прибайкалье, на берегах р. Ангары, неолитических поселений (3—2 тыс. лет до н. э.) были найдены каменные песты фаллического облика, у которых один конец оформлен в виде медвежьей головы. По типу они напоминают этнографические образцы изображений фаллосов, встречающихся у индейцев Северной Америки, и, очевидно, имели то же смысловое значение, символизируя активное мужское начало, как в охотничьем промысле, так и в воспроизводстве человеческого рода.

Все сказанное позволяет нам предположить, что и сэкибо Японских о-вов играли такую же роль, являлись атрибутами магических культов, предназначенных влиять на производительные силы природы.

Такое же значение, должно быть, имели и каменные песты фаллического типа с медвежьими головами, обнаруженные на неолитических поселениях Прибайкалья.

Возможно, и сэкибо Японских о-вов играли такую же роль.

Как бы там ни было, перед нами совершенно новые и пока еще слабо изученные памятники древней культуры Хоккайдо. Они ждут своих исследователей.

#### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

НАРОДЫ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ. М.: Наука, 1965.

Васильевский Р. С., Окладников А. П. ДРЕВНИЕ ПОСЕЛЕНИЯ САХАЛИНА. Новосибирск: Наука, 1976.

Фрэзер Д. ЗОЛОТАЯ ВЕТВЬ. М.: Политиздат, 1980.

Васильевский Р. С. ПО СЛЕДАМ ДРЕВНИХ КУЛЬТУР ХОККАЙДО. Новосибирск: Наука, 1981.

<sup>1</sup> См., напр.: Народы Юго-Восточной Азии. М., 1965; Фрэзер Д. Золотая ветвь. М., 1980.

<sup>2</sup> Кондоминас Ж. Лес священного камня. М., 1968.

## Самоцветы рождаются в Новосибирске

Г. Р. Колонин, А. Б. Птицын



Герман Разумникович Колонин, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией рудных систем Института геологии и геофизики СО АН СССР. Занимается экспериментальными и теоретическими исследованиями условий гидротермального рудообразования.



Алексей Борисович Птицын, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник того же института. Специализируется на выяснении условий образования сульфидов из гидротермальных растворов.

Нет никакого сомнения, что изучение природы минерала и образования его в земной коре — все это постепенно приводило к воспроизведению тех сложных процессов, которые протекают в глубинах Земли и медленно и постепенно создают чистый, прозрачный кристалл. Поэтому понятно, что проблема синтеза оказалась одной из важнейших задач минералогии в целях создания минерала определенных свойств.

А. Е. Ферсман

Эту статью мы хотели бы начать с терминологии. В настоящее время не только в обиходе, но и в языке научных публикаций весьма прочно укоренился термин «драгоценные камни». Однако еще А. Е. Ферсман в книге «Рассказы о самоцветах» настоятельно призывал увидеть, «что будущее камней не в их

ценности, не во вложенном в них богатстве, а в их красоте, в гармонии красок, цветов и форм, в их вечности»<sup>1</sup>. Еще он писал: «И я понял в своих долгих беседах с горщиками Урала, что нет и не должно

<sup>1</sup> Ферсман А. Е. Рассказы о самоцветах. М., 1961, с. 6.

быть на нашем родном языке слова «драгоценные камни». Мы должны говорить о самоцветах, о камнях, «сам цвет» которых определяет их ценность<sup>2</sup>.

Казалось бы, все совершенно ясно. Тем не менее термина «самоцвет» почти не встретишь сейчас в литературе по минералогии. Он больше употребляется в промышленно-коммерческой сфере: в Ленинграде существует трест «Русские самоцветы», в Свердловске — «Уральские самоцветы», в Москве — объединение «Союзкварцсамоцветы» и т. д.

XX в. с его всюду проникающей технологией вторгся и в сферу, казалось бы, недоступной для него нерукотворной красоты самоцветных камней. Уже давно и часовую, и ювелирную промышленность заполнили синтетические корунды, рубины. Затем начали уступать свои позиции и другие природные самоцветы. Основные этапы наступления человека на природные тайны сотворения драгоценных камней обстоятельно изложены сразу в двух вышедших в прошлом году книгах<sup>3</sup>. Наша цель — не повторять содержащуюся в них информацию, а постараться показать, какая роль принадлежит в этом быстро развивающемся направлении современной науки и техники ученым Сибирского отделения АН СССР.

Еще в 1959 г., в период становления Института геологии и геофизики СО АН СССР в нем была организована крупная лаборатория экспериментальной минералогии. Ее сотрудники должны были изучать процессы, приводящие к образованию минералов в природе, и пытаться воспроизводить эти процессы. Возглавил лабораторию молодой минералог А. А. Годовиков.

Уж первые результаты, полученные в лаборатории, продемонстрировали, что на стыке минералогии, химии и физики действительно можно получить уникальную информацию об условиях образования минералов и руд. Такая информация была совершенно необходима для дальнейшего развития минералогической науки для обеспечения подхода к условиям образования минералов «с числом и мерой», без которого невозможен переход минералогии в ранг точных естественных наук.

Сначала была обстоятельно исследо-

дована большая группа сухих халькогенидных систем, включавшая слабоизученные природные соединения свинца, висмута, серебра с селеном и серой. Это позволило не только решить целый комплекс чисто минералогических задач, но и получить большой методический и научный задел, облегчивший в дальнейшем синтез и выращивание монокристаллов халькогенидов. Затем развернулись требующие более сложного оборудования работы по моделированию гидротермальных рудных и силикатных систем, изучению катионного обмена в минералах группы цеолитов, эксперименты в области высоких и сверхвысоких давлений.

Как продолжение и развитие фундаментального эксперимента в конце 60-х годов была решена первая прикладная задача — получен амфиболовый («голубой») асбест, довольно редко встречающийся в природе и в то же время выгодно отличающийся от своего хризолитового собрата термической и химической стойкостью, высокой адсорбционной способностью. Этот быстрый и казавшийся неожиданным успех сотрудников лаборатории доказал справедливость точки зрения много сделавшего для развития экспериментальных работ в институте В. С. Соболева и заведующего лабораторией А. А. Годовикова. Они неоднократно подчеркивали, что при разработке методов синтеза промышленно ценных минералов наибольшего эффекта способны добиться минералоги, поскольку они знают или с большой степенью вероятности могут предположить, каким путем и в каких условиях эти минералы образуются в природе.

Вскоре в лаборатории родился и первый искусственный минерал-самоцвет. Г. В. Букин, используя опыт и знания, накопленные им при исследовании бериллийсодержащих и других силикатных систем, получил в 1970 г. первую друзу кристаллов изумруда (изумруд — хромсодержащая разновидность берилла  $Al_2Be_3[Si_6O_{18}]$ ).

**«НИКАКАЯ ВЕЩЬ ЗЕЛЕНЕЕ НЕ ЗЕЛЕНЕЕТ...»**

Издревле известный и почитаемый разными народами изумруд, наряду с природным рубином и алмазом, относится к драгоценным камням первого класса<sup>4</sup>.

<sup>2</sup> Там же, с. 8.

<sup>3</sup> Балицкий В. С., Лисицына Е. Е. Синтетические аналоги и имитации природных драгоценных камней. М., 1981; Эллуэлл Д. Искусственные драгоценные камни. М., 1981.

<sup>4</sup> Существует несколько классификаций самоцветов. В любой из них выделяется группа драгоценных камней, которые обычно делятся на три класса.

Древние греки называли его смарагдос, ассирийцы — барракту, персы — зумуруд, армяне — зырмухт, или зермуд, а наши далекие предки — змарагд, или смарагд. С ним связано большое число легенд и поверий. Изумруд считали целебным камнем. По градации тибетской медицины, он входил в группу лекарственных препаратов, которые дает мать-земля. Верили, что толченый изумруд с верблюжьим молоком — противоядие от укуса змеи и что у змей при взгляде на изумруд вытекают глаза. В Старом Свете изумруд почитался как талисман, помогающий освобождению пленных и спасению мореплавателей от бури. Культ поклонения этому камню существовал и у индейцев Южной Америки.

Очевидно, во все времена изумруд привлекал сочетанием прозрачности и сочного, но вместе с тем неутомляющего зеленого цвета. А. Е. Ферсман подобрал несколько выразительных поэтических высказываний, воспевающих его красоту<sup>5</sup>. Например, перу А. И. Куприна принадлежат такие слова: «Он зелен, чист и нежен, как трава весенняя, и когда смотришь на него долго, то светлеет на сердце». Знаменитый русский минералог академик В. М. Севергин (1765—1826) так пересказывает старинных авторов: «Смарагды блеск свой распространяют далеко и как бы окрашивают возле себя воздух, и в сравнении с ними никакая вещь зеленее не зеленеет... Они не переменяются ни на солнце, ни в тени, ни при светильниках и, судя по их толщине, имеют беспрепятственную прозрачность, что нам также в воде нравится».

В мире существует всего несколько месторождений, где добыча изумрудов ведется в промышленных масштабах (Зимбабве, ЮАР, Колумбия, Бразилия, Австрия, Индия, СССР). Однако и на этих месторождениях ярко окрашенные прозрачные кристаллы с небольшим количеством дефектов встречаются крайне редко. Поэтому для ювелирных целей пригодна лишь ничтожная часть от общей массы извлекаемого из недр минерала. Учитывая необыкновенный цвет и красоту изумруда, совсем неудивительно, что он ценится выше алмазов такого же размера. Понятно и то, что первые попытки получить синтетический изумруд относятся еще к прошлому веку.

В течение 1911—1942 гг. работы по синтезу изумруда, увенчавшиеся получе-

нием крупных кристаллов, велись немецким концерном «ИГ Фарбениндустри». С 30-х годов выращиванием изумрудов занялась фирма К. Чатэма в США, с 50-х годов — фирма П. Жильсона во Франции, а затем — фирмы Австрии, Японии и других стран. Но стоит ли напоминать, что ни одна фирма, ни один ученый, занимающийся выращиванием монокристаллов, ценных для ювелирной или другой промышленности, никогда не раскрывал в своих публикациях всех деталей технологического процесса, деталей, без которых невоз-

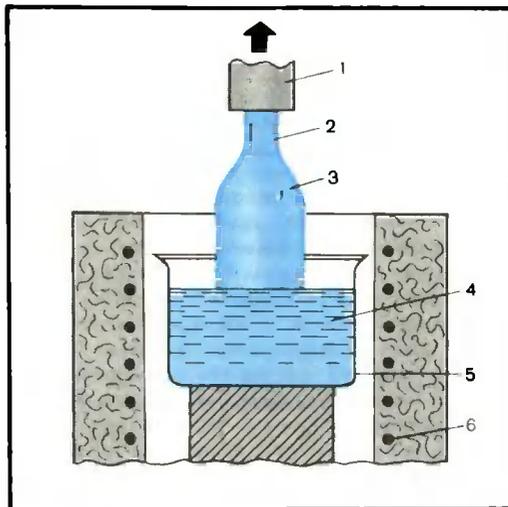


Схема выращивания кристаллов из расплава (метод Чохральского). На поднимаемом кристаллоносце [1] закреплена затравка [2], на которой кристалл [3] растет из расплава [4], находящегося в тигле [5]. Нужная температура поддерживается с помощью электропечи [6].

можно повторить сделанное. Тем не менее в нашем институте первые синтетические изумруды ювелирного качества были получены всего за 2—3 года, а не за 20—30 лет, как за рубежом. Сейчас трудно поверить, что в указанный срок был не только выявлен оптимальный режим самого процесса роста изумрудов, но и смонтирован крупный комплекс ростовых установок, отвечающих самым современным требованиям.

В настоящее время кристаллы синтетического изумруда, пригодные для ювелирных изделий, получают двумя методами — флюсовым (другими словами, из раствора в расплаве) и гидротермальным. Суть первого метода сводится к перекри-

<sup>5</sup> Ферсман А. Е. Цит. соч., с. 94.

сталлизации исходной шихты (состоящей из низкосортного природного изумруда, берилла или соответствующих оксидов) за счет высокой растворяющей способности расплавов молибдатов щелочных металлов или ванадата свинца. При разработке технологии выращивания проблем было немало. Во-первых, нужно было найти наиболее подходящий состав расплава, обеспечивающий выращивание крупных кристаллов берилла; во-вторых, — изучить температурную зависимость растворимости берилла в этом расплаве, выявив тем самым оптимальный температурный режим процесса роста; в-третьих, — разработать способ введения в расплав (а через него в кристаллы) нужных концентраций трехвалентного хрома, который придает бериллу цвет изумруда. Только на этой экспериментальной основе можно было рассчитывать найти оптимальные условия выращивания кристаллов достаточного размера, с наименьшим количеством дефектов и включений, с требуемой густотой окраски. Но у флюсового метода имеется несколько недостатков: во-первых, цикл выращивания длится около полугода, во-вторых, нужны дорогие тиглы из платины, поскольку пока не найдены другие материалы, способные противостоять агрессивности используемых расплавов.

Учитывая эти обстоятельства, начали искать пути выращивания изумруда гидротермальным методом (из горячего водного раствора). Та цепочка проблем, которые пришлось решить руководителю этих работ В. А. Кляхину и его сотрудникам, выглядит примерно следующим образом. Сначала был найден наиболее подходящий состав рабочего раствора. Затем подобрали такое соотношение в нем фтора и щелочи, которое обеспечивает концентрацию бериллия, алюминия и кремния (основные компоненты берилла), необходимую для кристаллизации именно требуемого соединения. Потом были созданы условия, при которых трехвалентный хром изоморфно входит в кристаллическую решетку берилла, а не осаждается на растущих гранях кристаллов в виде осадков грязно-зеленого цвета и не переходит в ярко-оранжевые ионы шестивалентного хрома.

Наконец, была решена первая технологическая задача — на кристаллах берилла или некондиционного светлого изумруда получен сравнительно тонкий, но густо-зеленый изумрудный слой. После этого был отработан режим получения стабильных, равномерно окрашенных слоев значительной толщины, отвечающих всем

требованиям ювелирного изумруда. И все это — без использования драгоценных металлов, в автоклавах из жаропрочных сталей и сплавов.

Наряду с технологическими вопросами не была забыта и вторая (а для минералога — первая!) сторона всей проблемы — изучение влияния физико-химических условий синтеза на состав и свойства получаемых кристаллов, на особенности изоморфных замещений родственных химических элементов в решетке берилла. Результатом этой работы стало более

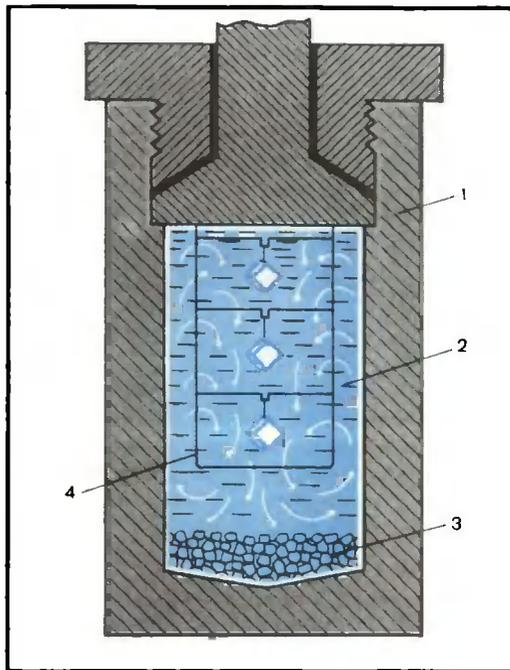


Схема выращивания кристаллов из водного раствора (гидротермальное выращивание). Процесс осуществляется в автоклаве (1), заполненном высокотемпературным водным раствором (2), за счет растворения шихты (3) и переотложения вещества на затравках, подвешенных на рамке (4).

глубокое понимание сущности процессов, приводящих к образованию бериллов в природе. Наряду с этим была получена необыкновенная коллекция бериллов разного состава и цвета. В ней и коричневато-желтые гелиодоры, и аквамарины синих тонов, иmorganиты, цвет которых в зависимости от содержания марганца меняется от розового до малинового или (в присутствии железа) до аметистового. Удалось вырастить также не встречающиеся в природе



Кристалл прустита, выращенный из расплава.

Изумруд, полученный гидротермальным методом.

Группа кристаллов изумруда, выращенных флюсовым методом.

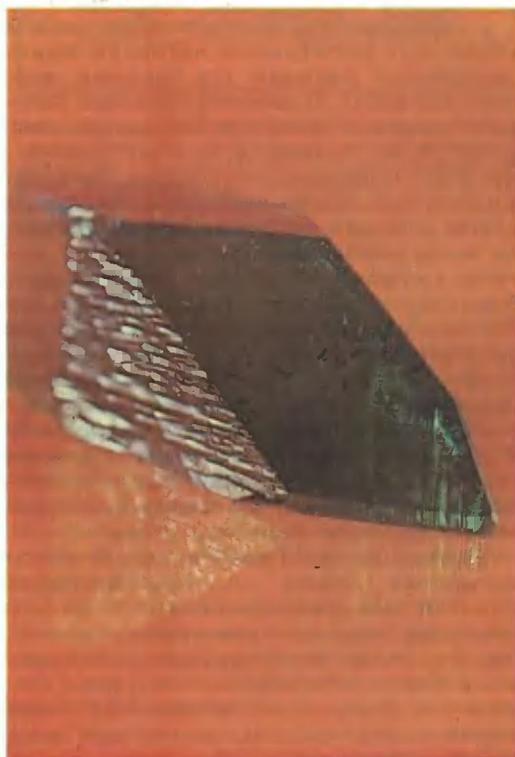
Бериллы с различными добавками, выращенные в гидротермальных условиях.

Здесь и далее фото В. Н. Машатина.

красные бериллы, содержащие кобальт, и бирюзовые, содержащие медь.

При сравнении геммологических (ювелирных) свойств изумрудов, выращенных в Институте геологии и геофизики СО АН СССР, с лучшими образцами из наиболее известных месторождений мира оказалось, что кристаллы, полученные флюсовым методом, лишь незначительно уступают им по плотности и показателю преломления. Гидротермальный же изумруд не только не отличим от природного по этим параметрам, но и не поддается опознанию с помощью инфракрасной спектроскопии — методу, безотказно работающему в случае гидротермальных изумрудов, выращенных в других странах<sup>6</sup>.

Несколько лет назад в Свердловске, а затем в Новосибирске и других городах страны началось внедрение разработанных методов синтеза, как флюсового, так и гид-



<sup>6</sup> Наряду с обычными приемами распознавания природных и синтетических самоцветов (измерение показателя преломления, твердости, плотности и т. д.) в последнее время все шире пользуются спектроскопическими методами — сравнением спектров поглощения в видимой, ультрафиолетовой и инфракрасной областях.



ротермального. Позади испытания в заводских условиях на оборудовании, доставленном из Новосибирска, проектирование установок для промышленного синтеза, начало их серийного выпуска. Сегодня на этих установках идет производство изумруда, первые партии которого уже поступили в огранку.

Все мы в той или иной степени слышали, сколь трудна дорога от научного исследования до «выхода на отрасль». Поэтому снова приходится удивляться, что эта дорога была пройдена всего за несколько лет. Секрет, видимо, не только в энтузиазме ученых, но и в максимальной заинтересованности производителей.

Наряду с работами по выращиванию изумруда в институте проводятся исследования, направленные на выяснение условий синтеза других бериллиевых минералов, в частности александрита.

### МЕНЯЮЩИЙ ЦВЕТ

Александрит — хромсодержащая разновидность хризоберилла ( $Al_2BeO_4$ ) — является одним из наиболее привлекательных и весьма загадочных самоцветов. Характерная его особенность — изменение цвета в зависимости от освещения: при дневном свете он изумрудно-зеленый, а при электрическом — фиолетово-красный. Александритовый эффект известен и у некоторых других кристаллов, например у содержащего ванадий корунда, который часто неправильно называют александритом. Природа эффекта связана с несколькими причинами. Прежде всего — это сложный характер взаимодействия света с подобными кристаллическими веществами. Дело в том, что в спектре поглощения хромсодержащего хризоберилла имеется несколько полос, обусловленных наличием ионов  $Cr^{3+}$  в двух различных структурных позициях. Одна из этих полос ответственна за красный цвет минерала, другая — за зеленый. Естественные предпосылки александритового эффекта проявляются уже в исключительно интенсивном плеохроизме (изменении окраски) кристаллов александрита: по кристаллографическому направлению  $[001]$  они проявляют красный цвет, по  $[010]$  — сине-зеленый, по  $[100]$  — желто-зеленый. Когда мы переходим от освещения кристаллов дневным (солнечным) светом на искусственное, более богатое длинноволновой (красной) компонентой, в спектре поглощения резко изменяется соотношение интен-

сивностей зеленых и красных полос. В результате кристаллы александрита приобретают вишневую окраску.

Принято считать, что александрит был открыт в 1842 г. в России и назван в честь Александра II. Тем не менее у Аль-Бируни (X в.) есть описание желтовато-зеленого камня «каркахан», изменяющего цвет при вращении. Переводчики его книги на русский язык отождествляют «каркахан» с хризобериллом<sup>7</sup>.

В природе александрит встречается значительно реже, чем изумруд: его

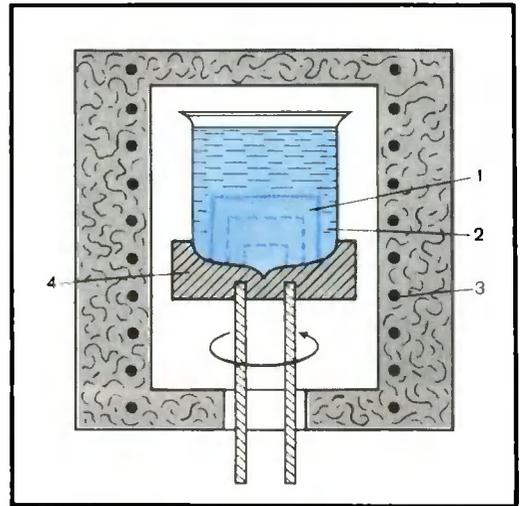


Схема выращивания кристаллов из водного раствора в расплаве. Кристалл (1) растет из расплава легкоплавкого флюса (2), содержащего вещество выращиваемого кристалла в виде раствора. Температура поддерживается с помощью электронагревателя (3), а сам процесс идет на охлаждаемой и часто вращаемой подложке (4).

промышленные месторождения известны только у нас на Урале, в Шри Ланке и Бирме. Основным поставщиком появившегося на мировом рынке в 70-х годах синтетического александрита стала американская фирма «Кризитив кристалс», использующая метод «раствора в расплаве». Благодаря крайней редкости в природе кристаллов александрита хорошего ювелирного качества и соответственно высокой стоимости изделий из него на мировом рынке (до 20 тыс. долл. за карат), цены на синтетический александрит также

<sup>7</sup> Аль-Бируни. Собрание сведений для познания драгоценных камней (минералогия). М., 1963.

сравнительно высоки — от 300 до 500 долл. за карат.

В нашем институте кристаллы александрита впервые были получены В. Н. Матросовым и Е. Г. Цветковым в 1974 г. путем вытягивания из расплава (точнее, методом Чохральского) на промышленных ростовых установках. Серьезной трудностью, с которой столкнулись исследователи из-за редкости и недоступности природных хризобериллов и александритов, была проблема затравок. На первых порах в качестве затравок использовали иридиевые стержни. При этом получались блочные кристаллы плохого качества. Только со временем, после перехода на затравки из искусственного александрита, удалось получить образцы с хорошими характеристиками. Размер выращиваемых кристаллов и их форма зависят от ориентировки затравки, так как скорости роста по различным кристаллографическим направлениям резко отличаются. В настоящее время меньше чем за неделю получают кристаллы александрита длиной до 120 и диаметром до 30 мм.

Применение метода вытягивания из расплава требует высоких температур: хризоберилл плавится при 1870°C, а температура тигля с расплавом должна быть еще выше — около 2200°C. В этих условиях разрушается даже платина, поэтому тигли приходится делать из иридия. Но и он при таких температурах устойчив только в атмосфере аргона. Инертная же среда создает дополнительные трудности: становится сложно, а зачастую и невозможно ввести в расплав примеси в требуемом количестве и, главное, в нужном качестве (валентном состоянии). Может быть, именно поэтому американские специалисты выращивают ювелирные александриты методом раствора в расплаве, а методом Чохральского получают лишь кристаллы для лазерной техники.

Тем не менее методом Чохральского, вводя несвойственные природным александритам примеси, сибирские ученые получили кристаллы с новыми свойствами и необычными цветовыми характеристиками. Например, был достигнут александритовый эффект от бирюзово-зеленого до фиолетово-красного.

### РАДУЖНЫЙ КАМЕНЬ ОПАЛ

Опал — это рентгеноаморфная водосодержащая разновидность окиси кремния ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), встречающаяся в природе в виде натечных агрегатов, почек, желва-

ков, конкреций и различных выделений неправильной формы. Полупрозрачный опал с радужной игрой цветов называют благородным. Цена на него может приближаться к ценам самоцветов первого класса. Выделяются две основные разновидности благородного опала — белый и черный. Точнее было бы сказать, светлый и темный, так как белые опалы могут иметь какой-нибудь оттенок, например желтый, а черные — чаще обладают темно-серой или синей окраской. Особенно редкие черные опалы пленяют красиво контрастирующим с темным фоном малиновым сиянием. Благородный опал известен с античных времен. Английский геммолог Дж. Смит высказывает предположение, что он впервые попал в Европу из Индии. Долгое время основным источником благородного опала были древние копи Средней Европы (район Червенци, Чехословакия). Наиболее крупные месторождения (одно из них — черного опала) были открыты в конце прошлого — начале нашего века в Австралии. В скромных количествах благородные опалы встречались на американском континенте: в США, Гондурасе, Гватемале, Мексике.

Обычные опалы широко распространены в природе, но их благородная разновидность встречается очень редко. Образуются опалы путем медленного отложения кремнезема в порах выветривания или из сравнительно низкотемпературных гидротермальных растворов. Скорость отложения опала оценивается в 1 см за 200 тыс. лет.

Многочисленные попытки синтеза благородного опала не имели успеха, пока с помощью электронного микроскопа не была расшифрована его внутренняя структура. Она состоит из особым образом уложенных мельчайших сферических частиц (глобулей), причем от их размеров и способа «упаковки» зависят свойства опала. У благородного опала, используемого в ювелирном деле, частицы примерно равного диаметра уложены в так называемую кубическую плотнейшую упаковку. Размер сферических частиц колеблется от 150 до 450 мкм. Игра цветов благородного опала определяется отражением и рассеянием света на своеобразных дифракционных решетках, образованных закономерным чередованием слоев правильно расположенных сфер и пустот между ними. Другими словами, опал в видимом свете ведет себя так же, как кристаллическое вещество в рентгеновском излучении. При этом в зависи-

мости от размера частиц в его световой гамме преобладают те или иные цвета: при меньших — синей части спектра, а при больших — красной.

Итак, «самоцветность» благородного опала имеет иную природу, нежели у остальных драгоценных камней. Она не связана с наличием окрашивающих элементов-примесей, как у изумруда, рубина и многих других самоцветов, или активных центров, поглощающих свет с определенной длиной волны (аметист, голубой и винный топазы и др.).

Впервые метод получения искусственных благородных опалов был запатентован в 1964 г. австралийцами А. Гаскином и П. Дарре, однако не нашел промышленного применения. Собственно, ими была решена только первая из проблем — найден способ получения глобулей кремнезема требуемого размера из исходного раствора силиката натрия, причем эта операция занимала от 30 до 100 часов. В описанной процедуре использовался полиметилловый метакрилат, необходимый, очевидно, для заполнения пор и скрепления глобулей. Таким образом, синтезированное вещество не было еще благородным опалом, а могло только претендовать на роль имитации. В дальнейшем в Австралии же был использован более быстрый и совершенный процесс осаждения глобулей кремнезема из водно-спиртовых растворов тетраэтилортосиликатов.

В 1971—1972 гг. появились сообщения о благородных опалах, синтезированных П. Жильсоном во Франции, а в конце 1973 г. поступили в продажу и сами опалы. По мнению Д. Элуэлла, «получение искусственного опала Жильсоном можно считать наиболее выдающимся синтезом минерала, встречающегося в природе, осуществленным в последнее десятилетие»<sup>8</sup>. Синтетические опалы не уступали лучшим образцам природных камней по цветовой игре, но легко отличались от них по целому ряду признаков.

В 1976 г. работы по синтезу опалов были начаты у нас под руководством Д. В. Калинина. Сначала были разработаны способы получения глобулей кремнезема заданного диаметра и укладки их по типу плотнейшей упаковки. После пропитки образцов полиметилловым метакрилатом они обнаруживали цветковые эффекты, аналогичные по своей игре природ-

ному благородному опалу. Однако это были только опалесцирующие материалы, но еще далеко не опалы. Предстояла не легкая работа по приданию «играющей структуре» механической прочности, по достижению устойчивых оптических свойств, по исключению из их состава таких чуждых для природных минералов веществ, как полиметилловый метакрилат и т. п. Все эти проблемы потребовали упорного и кропотливого труда. А в 1980 г. изделия с опалами, созданными в Институте геологии и геофизики СО АН СССР, предстали на конкурсе Союзювелирпрома и заняли первое место.

Производство опала по разработанной в Новосибирске методике не требует громоздкого оборудования, безвредно, не загрязняет окружающую среду и позволяет получить самоцвет, пригодный для ювелирных изделий, всего за 30 дней. Сравнительная простота изготовления, а также чарующая красота самого камня способствовали тому, что сравнительно быстро нашлись промышленные предприятия, заинтересовавшиеся перспективой искусственного получения этого самоцвета. Сейчас его выпуск налажен на гидрометаллургическом заводе в г. Исфаре (Таджикистан) и осваивается на других предприятиях страны. Таким образом, сибиряки по праву делят с П. Жильсоном успех в решении интереснейшей и труднейшей проблемы синтеза благородного опала.

## ВТОРАЯ ЖИЗНЬ КРИСТАЛЛОВ

XX в. не только лишил природу монополии в отношении умения рождать в своих недрах кристаллы самоцветов — он заставляет их жить другой, неведомой ранее жизнью. Общеизвестно, что двадцать с лишним лет назад первый твердотельный лазер заработал на кристаллах искусственного рубина. Оказывается, изумруд может составить ему достойную конкуренцию не только в качестве средства сделать прекрасный, пол еще прекраснее. Его кристаллы все шире применяются для изготовления резонаторных лазеров, работающих в сантиметровом диапазоне длин волн, а также в лазерах бегущей волны, используемых в астрономии. Перспективен изумруд и как материал для сверхвысокочастотных установок.

Все настойчивее заявляет о своих уникальных физических свойствах и младший бериллиевый брат изумруда — алек-

<sup>8</sup> Элуэлл Д. Указ соч., с. 135.



Изделия с синтетическими благородными опалами.



Граненные синтетические изумруды и хризобериллы.

сандрит. После того как его синтетические кристаллы стали доступны для широкого использования, растет число приборов и схем, в которых элементы из александрита служат рабочими телами. Незаменимым он оказался в приборах высокотемпературной рентгеновской дозиметрии. Применяют кристаллы александрита и в качестве подложек при выращивании пленок полупроводниковых соединений.

Поле деятельности сибирских ученых, занимающихся выращиванием кристаллов, не ограничивается самоцветными камнями. Не менее важны их достижения в разработке методов изготовления других кристаллических материалов, необходимых современной науке и технике. Например, путем вытягивания из расплава методом Чохральского получены крупные и высококачественные кристаллы парателлуриата ( $\text{TeO}_2$ ). Минерал подобного состава встречается в естественных условиях только в небольших количествах как продукт окисления других редких природных соединений теллура. Синтетические кристаллы парателлуриата используют для изготовления акустооптических светозвукопроводов, одно- и многоканальных модуляторов, анализаторов спектра высоких и сверхвысоких радиочастот, дефлекторов и других элементов оптоэлектроники. Высокая акустооптическая добротность и низкие управляющие мощности устройств на кристаллах парателлуриата выгодно отличают этот материал от ранее применяв-

шихся в аналогичных случаях кварца и молибдата свинца.

Прустит ( $\text{Ag}_3\text{AsS}_3$ ) — давно известная мышьяковая сульфосолеь серебра, встречающаяся в природе в виде чрезвычайно красивых кристаллов и кристаллических сростков. За свои внешние данные она еще древними саксонскими рудознатоками была названа «светлой красной серебряной рудой». Синтетический прустит выращивают из расплава (метод Бриджмена — Стокбаргера) при температуре около  $500^\circ\text{C}$ . Для получения монокристаллов высокого оптического качества требуется строгий контроль за целым рядом параметров процесса, в том числе — за особой чистотой исходных веществ. После появления высококачественных искусственных кристаллов прустит стали применять в квантовой электронике. Схемы, использующие свойство прустита изменять свои оптические параметры под воздействием мощного лазерного излучения, позволяют осуществлять визуализацию инфракрасных изображений. Кроме того, прустит может быть эффективно применен в качестве дефлектора, работающего в среднем инфракрасном диапазоне.

Перечень самоцветов и технических кристаллов, полученных новосибирскими минералогами-экспериментаторами, при желании можно продолжить. Например, успешно идут исследования условий гидротермального выращивания хризолита — прозрачного, обладающего приятной зо-

лотисто-зеленой окраской железистого оливина —  $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ . Наряду с изумрудом, аквамаринном и александритом получены крупные кристаллы еще одного самоцвета — фенакита ( $\text{Be}_2\text{SiO}_4$ ), в том числе и его не встречающейся в природе содержащей медь разновидности, обладающей голубой окраской.

Освоены методы синтеза достаточно крупных и прозрачных кристаллов очень редкого минерала — бромеллита ( $\text{BeO}$ ). С одной стороны, это вещество с уникальным набором ценных физических свойств, в ряду которых необычно высокая для ионного кристалла теплопроводность, сочетающаяся с низкой электропроводностью, большая скорость прохождения звука, хорошая механическая и радиационная прочность. Благодаря им кристаллы бромеллита используются в качестве подложек в микрозлектронных схемах, в акустооптических приборах, входят в состав композиционных материалов. С другой стороны, прозрачный и твердый бромеллит, обладающий высоким показателем преломления, — потенциальный новый вид ювелирного сырья.

Нельзя не упомянуть также о разработке методов получения халькогенидных мышьяковых стекол, прозрачных в инфракрасной области спектра, которые применяются как материал для записи и хранения информации в голографии, для акустооптики и волоконистой оптики<sup>9</sup>. Наконец, назовем выращенные методом Чохральского монокристаллы бериллата лантана ( $\text{La}_2\text{Be}_2\text{O}_5$ ), активированные примесями других редкоземельных элементов. Твердотельный лазер на его основе превосходит по энергетическим характеристикам наиболее распространенные лазеры на иттрий-алюминиевом гранате.



Мы попытались рассказать здесь об основных достижениях новосибирских минералогов-экспериментаторов. Каково значение этих работ, их место в современном техническом прогрессе? Думается, что лучше всего привести слова руководителя Сектора экспериментальной минералогии и участника многих из рассматривавшихся выше работ А. А. Годовикова: «Каждое исследование, заканчивающееся разработкой методов синтеза новых минералов, выращивания их моно-

кристаллов, можно сопоставить с открытием месторождения такого вида сырья, отличающегося от природного непрерывно возрастающими запасами и снижением себестоимости, несоизмеримо меньшими затратами по сравнению с теми, которые необходимы для поисков и разведки аналогичного природного месторождения, его эксплуатации»<sup>10</sup>.

Безусловным признанием успехов в синтезе искусственных минералов явилась организация при Сибирском отделении АН СССР Специального конструкторско-технологического бюро монокристаллов. Одна из его основных задач — помочь ученым довести их научные идеи и принципиальные разработки до уровня промышленной технологии, всесторонне проверить эту технологию и внедрить в промышленное производство. В тематике этого бюро видное место занимают самоцветы: совершенствование методов выращивания изумруда и александрита, вовлечение в круг ювелирного сырья новых типов кристаллов, практически не встречающихся в природе: розового берилла — морганита, голубого фенакита, прустита и т. д.

Конечно, когда уникальное творение природы, каким по праву может считаться самоцветный камень, становится результатом пусть достаточно сложных, но уже хорошо освоенных технологических операций, нельзя не испытывать некоторого чувства грусти... Особенно минералогу. Здесь возникает еще и этическая проблема: создавая искусственные самоцветы, не лишимся ли мы радости наслаждаться самоцветами естественными?

Однако, когда дело касается непревзойденности красоты природных самоцветов, можно быть достаточно спокойными. Ведь минералагам хорошо известно, что едва ли не каждый естественный кристалл при тщательном рассмотрении оказывается наделенным совершенно неповторимыми особенностями формы, цвета, внутреннего строения и даже присущими только ему дефектами и изъянами.

В уже цитированной книге А. Е. Ферсман писал: «В борьбе за завоевание природы человечество должно прилагать огромные усилия, чтобы эта борьба не шла в ущерб красоте. Чувство прекрасного в его лучших и облагораживающих формах не должно будет подавляться завоеваниями технического прогресса»<sup>11</sup>.

<sup>9</sup> Один из их создателей — Б. Г. Менашев — недавно был удостоен серебряной медали ВДНХ.

<sup>10</sup> За науку в Сибири, 1977, № 4 (785).

<sup>11</sup> Ферсман А. Е. Цит. соч., с. 245.



## Редкие рододендроны Приморья

**В. Т. Зорикова,**  
кандидат биологических наук

Владивосток

«По красоте своих больших ярко-розовых цветов, появляющихся, когда еще кусты не покрылись новыми листьями, это растение, по справедливости, может украсить любой сад... Когда багульник<sup>1</sup> в цвету, видишь одно сплошное розовое поле, перед которым останавливаешься в восхищении, пораженный необычайно красивой панорамой»<sup>2</sup>. Эти прекрасные слова можно отнести ко всем дальневосточным рододендронам.

В горном Приморье весной, еще до распускания листьев, цветут эти великолепные кустарники, с красотой которых могут соперничать только розы. Удивительно яркая окраска цветов от бледно-розовой до темно-фиолетовой оставляет незабываемое впечатление. Густо покрытый соцветиями куст сияет в лучах солнца.

Рододендроны — древнейшие представители дальневосточной флоры. Из 10 встречающихся в Приморье рододендронов 5 видов относятся к редким. Это рододендроны: Шлиппенбаха (*Rhododendron schlippenbachii*), короткоплодный, или Фори (*Rhododendron brachycarpum* = *R. fauriei*), сихотинский (*Rhododendron sichotense*), Редовского (*Rhododendron redeowskianum*) и остроконечный (*Rhododendron mucronulatum*). Эти растения не только разнообразны по окраске цветков, но и различаются формой кустов и их величиной. Некоторые виды (рододендрон Редовского) поднимаются на несколько сантиметров над землей, другие растут в виде дерева (рододендрон короткоплодный), но большинство из них — кустарники.

Самый мелкий из дальневосточных рододендронов — рододендрон Редовско-

го, растение с крупными ярко-малиновыми цветками. В Приморском крае он редок, основной ареал его — континентальные районы Восточной Сибири. В Приморье его можно встретить лишь на вершинах высоких гор (Средний Сихотэ-Алинь), где он растет на сырых каменистых сопках, в альпийской зоне вместе со стелющимися багульником, карликовыми формами голубики, линеи северной, толокнянкой, карликовой брусничкой. В растительном покрове Приморья играет незначительную роль, так как не образует зарослей, а встречается лишь в некоторых растительных высокогорных группировках. В природных условиях этот вид ежегодно и обильно цветет, размножается преимущественно вегетативным способом. Возможно, под влиянием суровых условий высокогорного пояса он утратил способность к семенному размножению и приспособился к вегетативному.

Пожалуй, самый удивительный и интересный из всех рододендронов Дальнего Востока — рододендрон Фори — дерево с вечнозелеными крупными листьями (местные жители называют его фикусом) и большими белыми цветками. Ствол его покрыт тонкой, как бумага, розовато-серой корой, которая легко воспламеняется. В Приморском крае он обнаружен сравнительно недавно Н. С. Шеметовой на восточном склоне Сихотэ-Алиня<sup>3</sup>. В таежной зоне рододендрон Фори, растущий на значительном расстоянии от его основного ареала, — реликтовое растение. Его существование здесь подтверждает, что в прошлые геологические эпохи климатические условия Приморского края были мягкими и благоприятными для южных растений. Данный вид встречается также на Курильских о-вах — Итурупе и Кунашире, где приурочен к темно-хвойным лесам. Основная часть ареала находится в Японии.

<sup>1</sup> «Багульник» — название рододендрона, принятое местными жителями.

<sup>2</sup> Шрейберг А. Ф. Рододендрон даурский. — Вестник садоводства, плодоводства и огородничества. СПб, 1911.

<sup>3</sup> Шеметова Н. С. — Ботан. ж., 1970, т. 55, вып. 4, с. 550.



**Рододендрон Шлиппенбаха.**

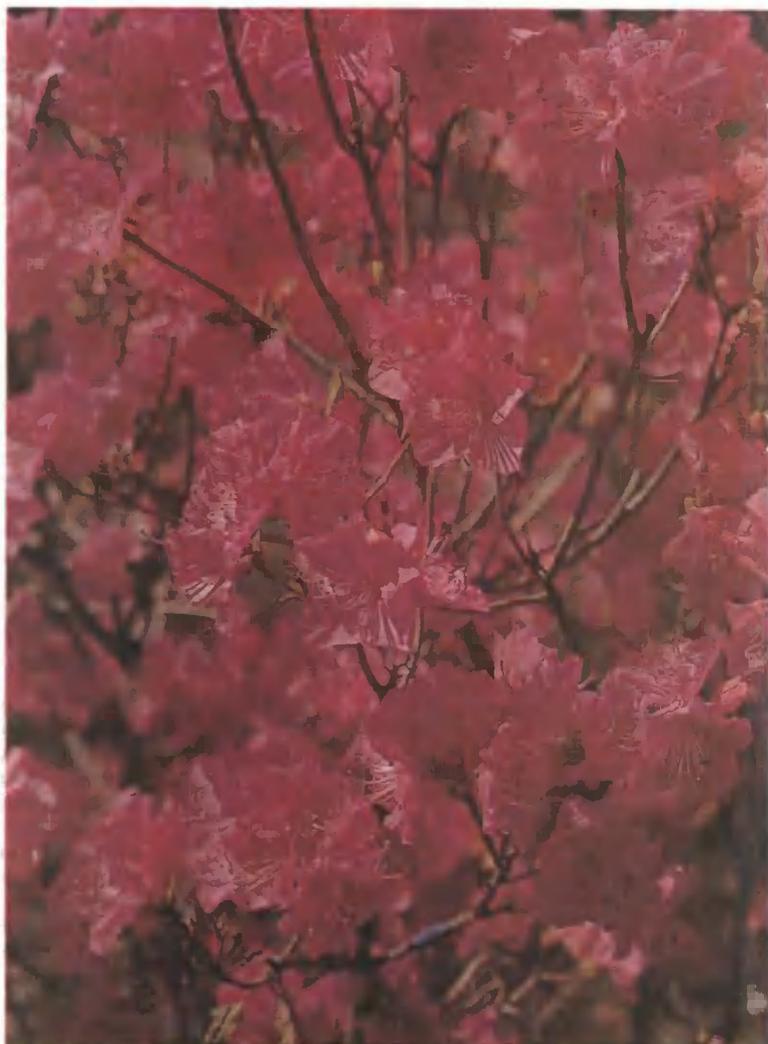
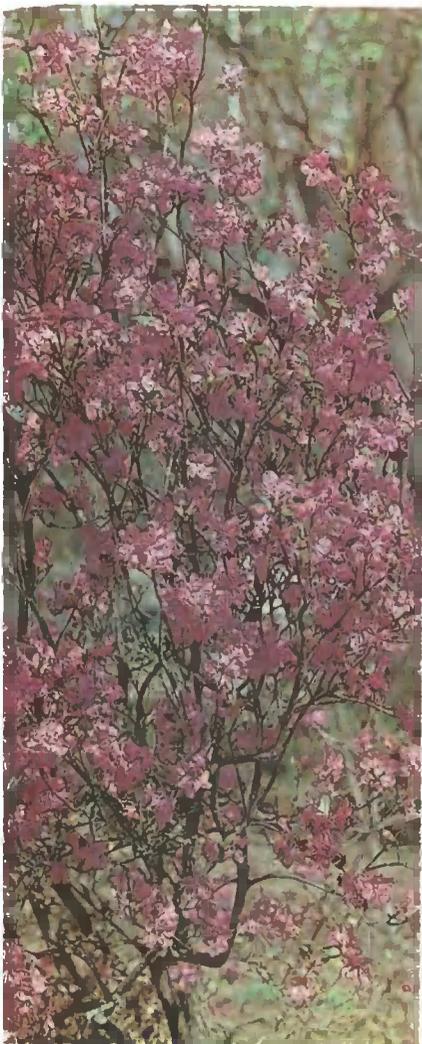
**Рододендрон сихотинский.**

**Рододендрон остроконечный.**

Здесь и далее фото Ю. Т. Васьковского.

Самый красивый из приморских рододендронов — рододендрон Шлиппенбаха. Его огромные ярко-зеленые листья почти мутовчато, по 5 штук, расположены на концах побегов. В прошлом веке его культивировали в ботаническом саду в Петербурге и называли королевской азалией. Цветки этого рододендрона поистине необычайны — до 10 см в диаметре, венчик широкооткрытый. Окраска цветков

в подавляющем большинстве розовая с бордовыми пятнами в зеве, встречаются и темно-розовые, изредка белые с зелеными пятнами. Цветет, как правило, до распускания листьев, густо покрывая весь куст сплошной розовой пеной. Рододендрон Шлиппенбаха растет только на юге Приморского края (Хасанский район), а за пределами СССР — на Корейском п-ове и в Китае. В естественных условиях, произрастая в сравнительно теплом и влажном климате, образует заросли и куртины по сухим каменистым склонам, встречается на вершинах сопок, заходит в ущелья. Он составляет основной фон подлеска в хвойно-широколиственных лесах. Нередок он и на склонах холмов, среди кустарниковых зарослей из леспедецы, вейгелы,



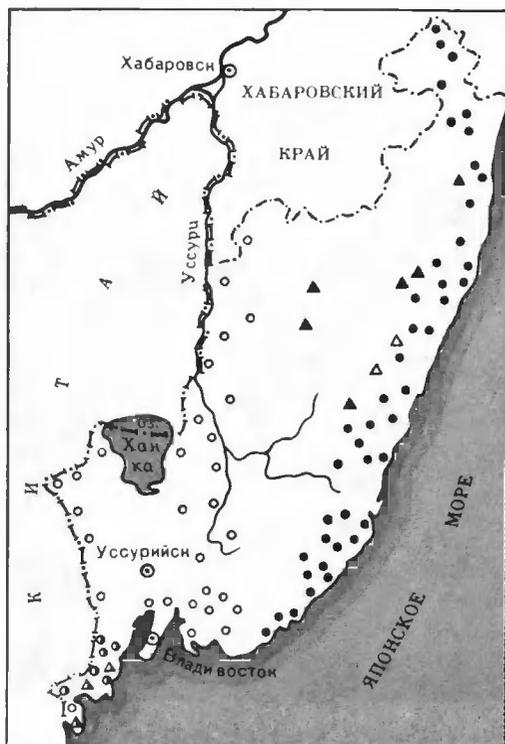
рододендрона реснитчатого, дейции и других. В подлеске этот рододендрон растет кустом или небольшим деревцем. Значительный опыт его культивирования в Приморье показал, что он предпочитает открытые места, в сухое время года требует полива на ночь.

Рододендрон сихотинский — эндемичное растение Приморья — занимает небольшой ареал. Распространен по восточным склонам Сихотэ-Алиня и прилегающим частям морского побережья (Ольгинский, Дальнегорский, Тернейский районы и до Советской Гавани). Образует сплошные заросли, и куртины, растет группами и рассеянно на каменистых склонах, гребнях, скалах и крупнозернистых россыпях; иногда заходит в пояс горной тундры, на тор-

фяные болота и пески морского побережья. На крутых каменистых россыпях, обращенных к морю, в северной части Приморья, по-видимому, под воздействием холодных туманов и ветров попадаются низкорослые, всего до 30 см высотой, подушкообразные формы, густо одетые мелкими листочками. В подлеске смешанных лесов, защищенных от господствующих ветров, наоборот, более высокорослые, до 3 м высотой кусты, с раскидистой или компактной кроной и различными по величине и форме листьями.

Красивые с приятным запахом листья рододендрона сихотинского достигают 5—6 см длины и 3,5—4 см ширины. Осенью окрашиваются в лимонно-желтый или пурпурно-красный цвета, а на зиму листья бу-

реют. С наступлением морозных дней листья у некоторых кустов рододендрона сихотинского скручиваются в трубку. Мы заметили, что в снежные годы (с предшествующим влажным летом) листья на многих кустах зимуют не скручиваясь, а в засушливые годы с бесснежной зимой они свертываются в трубку. Очевидно, скручивание листьев — приспособительное свойство растений к перенесению неблагоприятных условий — не только морозов, но и засух — как летних, так и зимних.



Ареалы редких рододендронов Приморья.

- Рододендрон остроконечный
- Рододендрон реснитчатый
- Рододендрон сихотинский
- Рододендрон Редовского
- Рододендрон Шлиппенбаха
- Рододендрон короткоплодный

Весной свернутые листья разворачиваются, зеленеют так же, как и зимующие без скручивания, приобретая темно-зеленый цвет, резко отличающий их от молодых светло-зеленых вновь развивающихся листочков. Осенью перезимовавшие листья опадают.

Наиболее декоративен рододендрон сихотинский в период цветения, когда кусты его сплошь покрываются цветками. Цветки с воронковидно-колокольчатым венчиком и различной формой лепестков: округлой, овальной, заостренной. Окраска венчика от светло-розовой, ярко-пурпурной до темно-фиолетовой. Этот рододендрон иногда обильно цветет еще раз в сентябре — октябре. Как показали наши наблюдения, куст рододендрона сихотинского хорошо поддается формированию. В культуре этот вид еще не распространен, но заслуживает самого пристального внимания садоводов.

Рододендрон остроконечный — наиболее часто встречается в южном Приморье и сравнительно недавно включен в список редких видов<sup>1</sup>. Он входит в состав различных фитоценозов, растет на склонах, каменистых россыпях, по сухим склонам, является основным видом подлеска дубняков (на ограниченных площадях), горных сосняков в окрестностях оз. Ханка, смешанных лесов. В Хасанском районе Приморского края совместно с рододендром Шлиппенбаха встречается разновидность рододендрона остроконечного — рододендрон реснитчатый (*Rhododendron mucronulatum* var. *ciliatum*), который заходит в Приморье из северной части Корейского п-ова. Реснитчатый отличается от рододендрона остроконечного формой и окраской цветков, размерами и опушенностью листьев. Цветки рододендрона реснитчатого мельче, чем у остроконечного, цвет их темно-фиолетовый или сиреневый. Листья же более крупные, округлые, осенью они приобретают ярко-зеленые тона и на зиму опадают.

Рододендрон остроконечный давно культивируется, но до сих пор довольно редко.

Рододендроны — древний род, реликтовое происхождение которого (третичный период) подтверждено палеоботаническими находками. Сейчас эти древние растения своими декоративными свойствами привлекают внимание садоводов. Родо-

<sup>1</sup> Харкевич С. С., Качура Н. Н. Редкие виды растений советского Дальнего Востока и их охрана. М., 1981, с. 185, 187.



**Рододендрон короткоплодный.**

дендроны имеют и хозяйственное значение: почти все они содержат дубильные вещества, а многие — эфирные масла, которые применяются в парфюмерии. Рододендроны издавна находили применение в народной медицине для лечения простудных и желудочно-кишечных заболеваний, как антисептическое и мочегонное средство. Сейчас тщательно исследуются их лекарственные свойства. Оказалось, что многие из них обладают бактерицидным, фитонцидным и инсектицидным свойствами. Например, Р. Г. Медведева и Э. И. Клец (1957) обнаружили, что рододендрон даурский, разновидностью которого долгое время считался рододендрон остроконечный, в виде спиртовой вытяжки из листьев губительно действует на холерного вибриона, дифтерийную палочку и некоторые патогенные бактерии кишечника и гноеродные бактерии.

Большинство дальневосточных рододендронов пока еще не изучено, но, очевидно, и среди них найдется немало с лекарственными свойствами. Уже сейчас

установлено, что корни и ветви рододендрона остроконечного содержат алкалоиды, листья — кумарины и сердечные гликозиды, а побеги — дубильные вещества, флавоноиды и эфирные масла<sup>5</sup>.

Распространение отдельных видов рододендронов на ограниченных территориях, подвергающихся усиленному освоению, частые пожары — все это ведет к уменьшению их запасов в природе и даже ставит под угрозу само их существование. Чтобы сохранить редкие виды рододендронов Приморья необходимо запретить их сбор, а в некоторых ареалах было бы крайне полезно организовать заказники. Действенной мерой может оказаться и искусственное разведение рододендронов, хотя оно и не всегда просто.

<sup>5</sup> Шретер А. И. Лекарственная флора советского Дальнего Востока. М., 1975, с. 217.

#### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

**Александров М. С. РОДОДЕНДРОНЫ ПРИРОДНОЙ ФЛОРЫ СССР.** М.: Наука, 1975.

## Трансмагматические флюиды в геологии

И. А. Зотов



Игорь Александрович Зотов, кандидат геолого-минералогических наук, младший научный сотрудник Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии АН СССР. Работает над проблемой трансмагматических флюидов.

С давних времен геологи придавали большое значение роли летучих соединений, прежде всего воды и водных растворов, в геологических явлениях. Сторонники главенствующей роли воды в образовании горных пород принадлежали к школе непунистов. Им противостояли плутонисты, считавшие земное тепло и магматизм основными элементами геологического развития Земли. Конечно, противопоставление двух главных природных стихий выглядит теперь наивным. Но и сейчас среди всей массы геологов можно выделить исследователей, отводящих летучим соединениям существенную роль во многих геологических процессах, и исследователей, вовсе не признающих их роли.

К числу первых принадлежит известный советский петролог Д. С. Коржинский, который еще три десятилетия назад пришел к заключению, что многие особенности магматических процессов можно объяснить, лишь предполагая существование потока плотных газов и надкритических растворов, проходящих через магму<sup>1</sup>. Он заключил, что летучие соединения, как и часть магматических расплавов, зарождаются в глубинной оболочке Зем-

ли — мантии. В земную кору летучие поднимаются по магматическим столбам с глубины в десятки и сотни километров. Поток летучих пронизывает всю массу магматических расплавов, и к летучим подходит определение трансмагматические. Физические характеристики и состав фазы летучих соединений неясны, в связи с чем термин «растворы» Д. С. Коржинский заменил менее определенным — «флюиды». Так родилась гипотеза о глубинных трансмагматических флюидах. Дальше речь пойдет о ее развитии.

### РОЛЬ ФЛЮИДОВ В ГЛУБИННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Проблема трансмагматических флюидов возникла в связи со стремлением геологов понять причины и механизмы глубинных эндогенных процессов, вызывающих изменение состава и физико-химического состояния вещества Земли. К эндогенным процессам относятся магматизм, метаморфизм, метасоматоз. И прежде чем подробно рассматривать гипотезу о трансмагматических флюидах, попытаемся дать самое общее представление о роли флюидов во всех этих процессах.

Под магматизмом понимают зарождение и дальнейшую эволюцию магм — сложных по химическому составу природ-

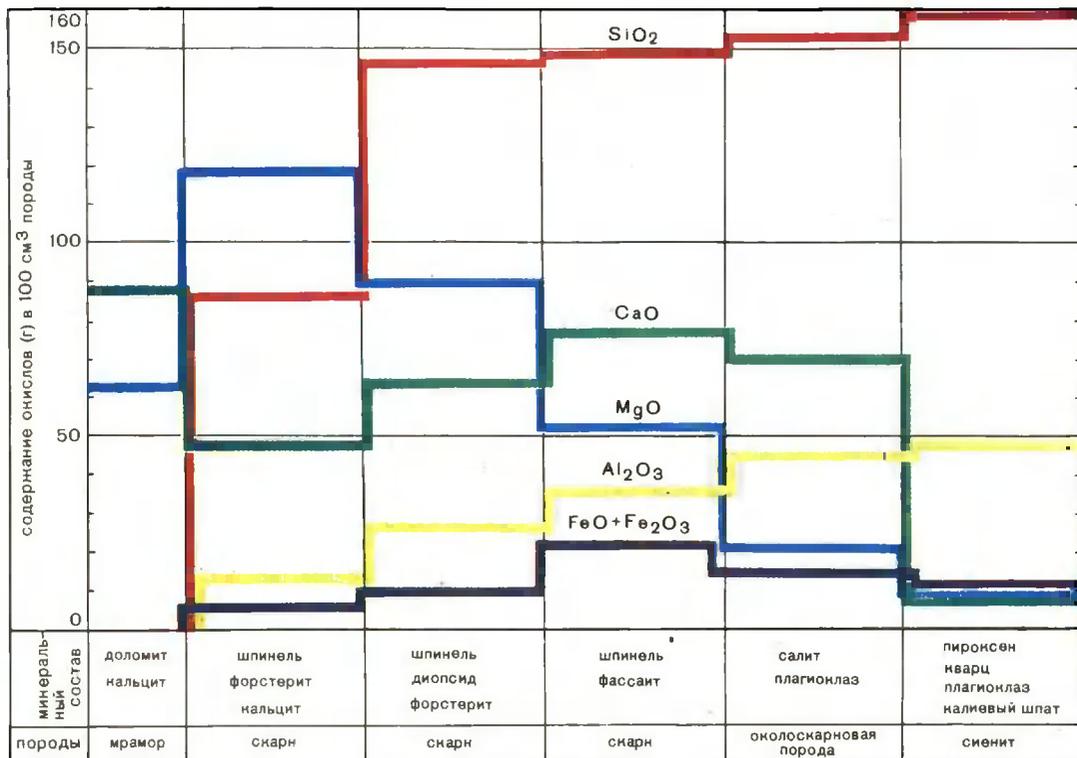
<sup>1</sup> Сходные представления высказывались в 1910 г. французским геологом П. Терье.

ных расплавов, основу которых составляют кислородные соединения кремния, алюминия, железа, магния, кальция, натрия, калия. В магме обязательно содержатся легко летучие компоненты: вода, углекислота, фтор, хлор, а также другие элементы и их соединения. Участие флюидов во всех магматических процессах сомнения не вызывает.

Между метаморфическими и метасоматическими процессами много общего. Под ними подразумеваются структурно-химические превращения твердых пород,

состав флюидной фазы. Различия между сравниваемыми процессами состоят в следующем: при метаморфизме пород в них изменяется только содержание легко летучих соединений, а при метасоматозе меняется также и содержание нелетучих компонентов (например, окислов калия, натрия, железа, кальция, магния). Очевидно, что перемещение нелетучих компонентов осуществляется при посредстве флюидов.

Участие флюидов в процессах магматизма, метаморфизма и метасоматоза

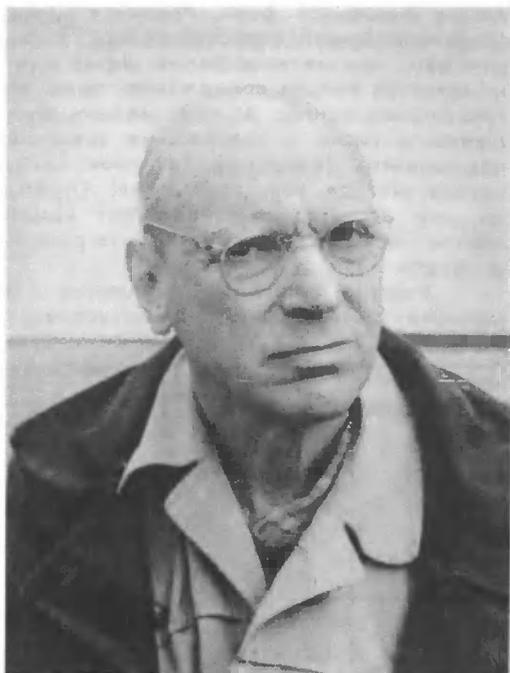


Графическое изображение перемещения окислов в процессе образования магнезиальных скарнов при магматическом замещении доломитовых мраморов сиенитовым расплавом [горизонтальный масштаб дан условно]. Показательно закономерное изменение содержания  $MgO$ ,  $Al_2O_3$  и  $SiO_2$  в направлении от мрамора к сиениту наряду с произвольным поведением  $CaO$  и суммы  $FeO$  и  $Fe_2O_3$ .

вызываемые изменением температуры, давления и окружающей флюидной среды. Известно, что к центру Земли сильно увеличивается давление и в меньшей степени температура. Породы же, слагающие земную кору, подвержены вертикальным перемещениям. С глубиной меняется и

подтверждается присутствием в кристаллах минералов, слагающих породы и руды, которые образовались в результате этих процессов, мелких включений (пузырьков) газа и жидкости. Летучие компоненты входят также в конституцию многих минералов этих пород. Но каковы масштабы участия флюидов в обсуждаемых процессах?

Рассмотрим, к примеру, магматизм. В застывших магматических породах летучие составляют менее 3% веса пород. Но при извержениях вулканов в атмосферу выделяется огромное количество газа. В продуктах вулканических извержений —



Д. С. Коржинский во время полевых работ на Кольском п-ове. Лето 1963 г.

лавах и пепле — газ также составляет весьма существенную часть (до 30% объема).

В нижних частях земной коры, на глубине 30—40 км, метаморфизм приобретает обширный региональный характер. Им охватываются массы пород толщиной в несколько километров и площадью в тысячи квадратных километров. В некоторых районах такой метаморфизм сопровождается интенсивной гидратацией пород, ранее не содержащих воду (например, базальтов). В рассмотренном случае вода не могла поступить с поверхности земли из-за плохой проницаемости пород на этих глубинах, следовательно, она имеет мантийную природу.

Объем флюидов, участвующих в процессах метасоматоза (и его составной части — глубинного рудообразования), поистине колоссален. По оценкам геологов, изучающих полиметаллические месторождения, в рудообразующих флюидах содержится в среднем около 5 мг меди, свинца, цинка в каждом литре раствора. Для образования одного среднего по запасам месторождения потребуется около 40 км<sup>3</sup> такого раствора, а все месторожде-

ния на Земле потребуют океана вод, которые, конечно, не могут быть исключительно глубинными. Видимо, в этих процессах участвуют и поверхностные воды.

Объемы метасоматических пород превосходят запасы руд. Следовательно, флюидов при метасоматозе было еще больше.

Итак, объем флюидов и их роль в процессах глубинного минералообразования весьма существенны. Но лишь небольшая часть флюидов обнаруживается в новообразованных породах, так что судить об общих количествах летучих чрезвычайно сложно.

В этой связи следует подчеркнуть, что роль флюидов в глубинных процессах отмечалась еще в первых работах Д. С. Коржинского, написанных в 30-х годах нашего столетия. В них разработан вопрос о режиме и составе флюидов, действующих на глубинах 30—40 км. Тогда же Д. С. Коржинский сформулировал понятие о специальных типах физико-химических систем с вполне подвижными компонентами, т. е. с активным конвективным переносом некоторых химических компонентов. К таким системам принадлежит большинство геологических образований. В последующие годы Д. С. Коржинский разработал термодинамику систем с вполне подвижными компонентами, методы оценки щелочности, кислотности, окислительного потенциала сред, в которых протекают глубинные геологические процессы. Все эти исследования Д. С. Коржинского, а затем и его учеников легли в основу принципиально нового количественного подхода к изучению глубинных геологических процессов.

#### ИСТОЧНИКИ ФЛЮИДОВ И ПРОБЛЕМА ТРАНСМАГМАТИЧЕСКИХ ФЛЮИДОВ

В верхних 5—10 км земной коры преобладают, видимо, метеорные<sup>2</sup> и захороненные морские существовавшие водные растворы. А в местах активного магматизма на этих и более глубоких уровнях земной коры, где температура достигает нескольких сотен градусов, флюидная фаза образована в основном конституционными, магматическими и мантийными флюидами, состав которых пока неясен. Их объемные соотношения проблематичны.

<sup>2</sup> Метеорные воды — водные растворы, циркулирующие в глубинах Земли, но поступившие с ее поверхности.

Участие мантийных флюидов в геологических процессах устанавливается по соотношениям изотопов кислорода, водорода, углерода, серы и тяжелых элементов во вновь образованных породах. Изотопные отношения различны в газах атмосферы, водах гидросферы, в породах, образующихся на поверхности Земли, с одной стороны, и во флюидных, магматических и твердых производных глубоких частей Земли — с другой. Признаки же отличия магматических флюидов от мантийных пока не разработаны. Но именно выявление действия потоков мантийных флюидов в глубинных процессах — насущная задача современной геологии.

Выдвинув гипотезу о трансмагматических флюидах, Д. С. Коржинский первым среди современных геологов обратил внимание на явления, вызванные действием потоков мантийных флюидов. Появлению гипотезы предшествовала острая дискуссия о способе образования гранитных пород, в изобилии встречающихся в метаморфических комплексах. Эти комплексы пород слагают основание земной коры, а во многих местах выходят и на земную поверхность. Гранитные породы этих комплексов имеют вид протяженных или коротких слоев толщиной от нескольких сантиметров до десятков метров, а также крупных однородных массивов, слагающих местами десятки процентов объема комплексов.

По минеральному и химическому составу гранитные породы метаморфических комплексов идентичны с продуктами кристаллизации богатых кремнеземом ( $\text{SiO}_2$ ) кислых магм. Это было главным аргументом сторонников образования гранитных пород метаморфических комплексов из расплавов, внедрившихся из глубины или выплавившихся из окружающих пород. Но внедрение такой массы расплавов требует значительного разуплотнения толщ или их разбухания, признаки которых отсутствуют. Нет и тугоплавких остатков пород, из которых предположительно могли выделиться низкотемпературные кремнекислые расплавы. Редки также пересечения слоев окружающих пород предполагаемыми расплавами.

В то же время в метаморфических комплексах выявляется много случаев образования гранитных пород в результате постепенного преобразования состава окружающих пород до гранита. Это дало основание некоторым исследователям предполагать, что гранитные породы могли образоваться путем такого метасома-

тического изменения окружающих толщ без их плавления.

В дискуссии участвовали геологи многих стран и все крупные специалисты в этой области. В разгар дискуссии Д. С. Коржинский высказал предположение, что гранитные породы образовались из расплавов, но из особых расплавов, возникших в результате предварительного метасоматического изменения окружающих пород. Объем пород, превратившихся в расплав, остался неизменным. Такой способ образования расплавов на месте твердых пород Д. С. Коржинский назвал магматическим замещением.

Магматическое замещение возможно лишь как результат воздействия на твердые породы горячих флюидов, выходящих из расплавов и равновесных с ними термодинамически (а следовательно, и химически). С окружающими породами, отличными от магм по температуре, химическому и минеральному составу, флюиды вступают в реакцию. При этом они отлагают компоненты магм, растворяя и унося компоненты, избыточные по отношению к составу расплавов. В результате длительного направленного из магмы тока флюидов состав изменяемой породы сближается с расплавом и образуется новая магма, сходная с первичной.

Магматическое замещение проходит неравномерно и раньше всего в наиболее проницаемых для флюидов участках пород. Их менее измененные части в виде обломков часто оказываются погруженными в образовавшуюся из расплава магматическую породу. Но последняя, а следовательно и магма, не загрязняются веществом обломков, которое удаляется из расплавов проходящими сквозь них флюидами. Это явление подтверждает существование флюидов, проходящих через расплавы.

Существование сквозьмагматического потока флюидов вытекает также из наблюдений за объемами измененных пород, окружающих магматические тела. Зоны измененных пород часто в десятки и сотни раз превосходят по объему вызывающие изменения магматические образования. Если окружающие породы существенно отличаются по составу от магмы, то их вещественные изменения могут составлять 50—60% первоначального веса. Столь значительные перемещения вещества могут происходить и за счет плохо растворимых компонентов, например  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{SiO}_2$  (растворимость менее 0,5 г/л водного раствора). Такие изменения требуют больших объемов флюидов, поступаю-

щих из скрытых в глубине частей магматических тел.

Первоначально явления магматического замещения были обнаружены в комплексах пород, образовавшихся на большой глубине, в основании земной коры. Поэтому Д. С. Коржинский предположил, что источником флюидов является мантия.

Дальнейшие исследования геологов, и в первую очередь В. А. Жарикова, Л. И. Шабынина, показали, что явления магматического замещения (а следовательно, и трансмагматические флюиды) сопровождаются магмы любого состава в достаточно широком интервале глубин — от сотен метров до десятков километров. Позже Ю. А. Кузнецов и Э. П. Изох предположили, что потоки тепла и вещества в форме флюидов пронизывают не только земную кору, но и мантию. Такие потоки они назвали интрателлурическими (от лат. telluris — земной). С их действием, вероятно, следует связывать метасоматические изменения, которые обнаружены в обломках мантийного вещества, выносимых кимберлитовыми магмами с глубины 200—250 км. Участки земной поверхности с повышенным тепловым фоном, ртутные и гелиевые эмиссии указывают места, где мантийные флюиды достигают этой поверхности.

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИПОТЕЗЫ ДЛЯ ПОНИМАНИЯ СУЩЕСТВА ЭНДОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Справедливость любой гипотезы проверяется ее способностью объяснять пространственные, но не до конца понятые явления. Испытаем таким способом гипотезу трансмагматических флюидов.

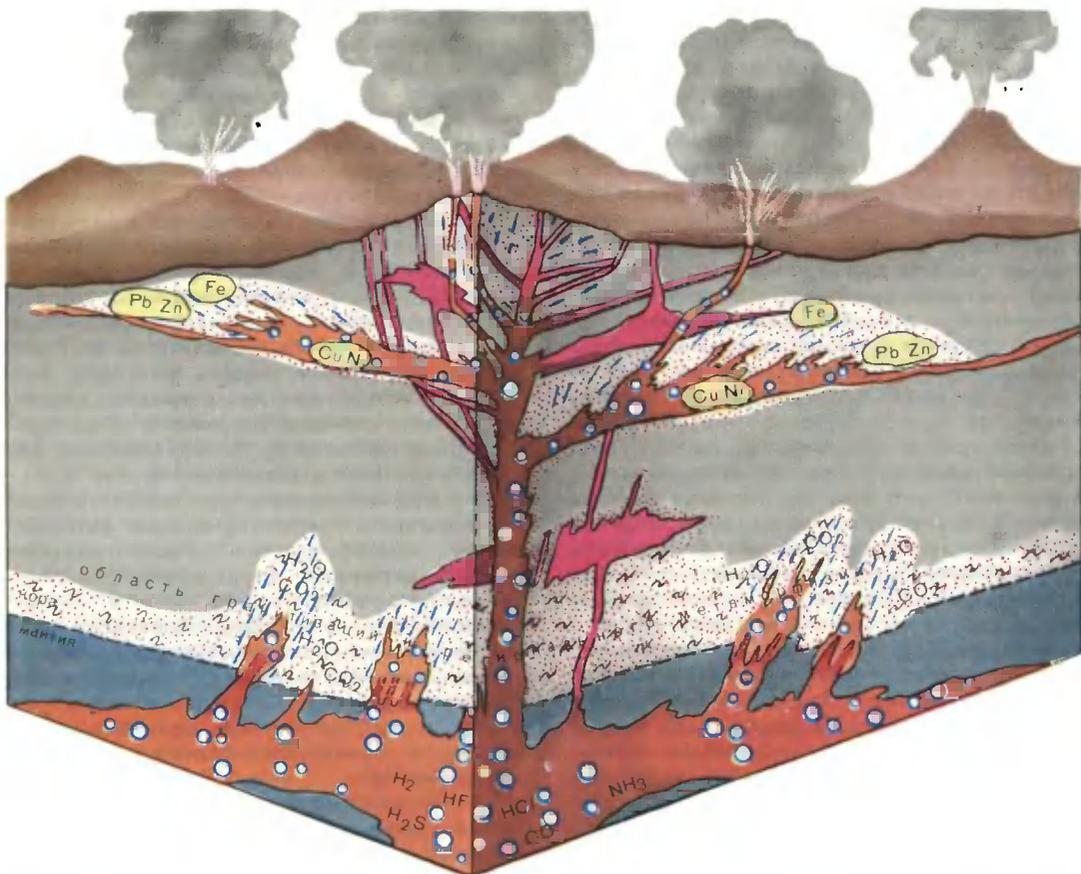
Для геологов, изучающих магматизм, традиционно трудной представляется «проблема пространства», которое в земной коре заполняется магматическими расплавами. В строении земной коры участвуют магматические тела, как мелкие, например жилы толщиной от нескольких сантиметров до 100 м, так и очень крупные — массивы, занимающие на поверхности земли площади до нескольких тысяч квадратных километров и углубляющиеся на сотни метров и даже километры. При механически активном, инъекционном способе внедрения магмы из глубины (в недалеком прошлом такой способ считался единственно возможным) имело бы место сильное деформирование пород вокруг таких массивов. В действительности наблюдается это редко и в огра-

ниченных объемах пород. Отсутствие деформаций вокруг небольших жил иногда объясняют образованием их в участках, где земная кора растягивается. Но такое объяснение не подходит для крупных магматических массивов. Распространение в их контактах явлений магматического замещения, вызываемых трансмагматическими флюидами, показывает, что часть расплавов возникла в результате такого процесса без деформации вмещающих толщ. Например, в Норильском районе удалось документально подсчитать, что от 50 до 75% объема не очень крупных Верхнеталыхских габброидных массивов мощностью 100—300 м, шириной 0,6—1,0 км и протяженностью более 20 км образовалось путем магматического замещения.

Крупные и мелкие магматические массивы часто образованы магмами меняющегося состава, возникшими в результате дифференциации, т. е. разделения однородной магматической массы на разные по составу части. Эта дифференциация совершается как в самих массивах, так и в недоступных человеческому глазу глубинах. Главной причиной разнообразия состава магм геологи считают последовательную, растянутую кристаллизацию минералов, которые могут всплывать или погружаться в зависимости от соотношения плотностей кристаллов и магмы, а также размеров кристаллов. В процессе кристаллизации состав расплавов меняется. Нечто подобное, но в обратной последовательности происходит при выплавлении магм из твердого субстрата в местах их зарождения. Флюиды активно влияют на эти процессы, изменяя температуры начала и конца кристаллизации расплавов, воздействуя на последовательность кристаллизации минералов. Лишь разной активностью потоков трансмагматических флюидов можно объяснить различную степень дифференциации магматических тел, залегающих в одном районе и сходных по общему составу и размерам.

Трансмагматические флюиды могут продлевать время кристаллизации магм, подогревая их за счет тепла, выделяющегося при окислении флюидов материалом коры. Подобным образом разогреваются газы, выходящие из лав и окисляющиеся кислородом воздуха. Так, при извержении вулкана Толбачик прямыми наблюдениями установлено, что температура газов, выделяющихся из лав в атмосферу, оказалась на 100°C выше, чем температура расплавов.

На пути из скрытых в глубине тыло-



Схематическое изображение строения магматической колонии. В затвердевших магматических телах ранней стадии развития колонии трансмагматические флюиды вызывают метаморфизм и послемагматическое оруденение. Вода и углекислый газ в глубинных зонах земной коры образуются при окислении магнийных флюидов веществом коры.

 Зоны метаморфизма и метасоматоза  
 Оруденение

 Слоистые толщи земной коры

Расплавы:

 базальтоидного состава

 гранитного состава

 Твердые магматические породы

 Породы мантии

Флюиды:

 в магмах

 в твердых породах

вых частей магматических тел в краевые температура трансмагматических флюидов снижается, а их кислотная агрессивность растет. Высокоосновные компоненты магм при этом переходят во флюидную фазу, и меняется состав расплавов. Такое «метасоматическое» изменение расплавов Д. С. Коржинский назвал метамагматизмом.

Теперь обсудим возможность приложения гипотезы трансмагматических флюидов к сложным и важным в практическом отношении вопросам глубинного рудообразования. Сейчас происходит интенсивное развитие этой области знаний, так как прежние представления не согласуются с новыми данными.

Рассмотрим образование обширной группы высоко- и среднетемпературных

месторождений, руды которых сформировались при температуре от 250 до 900°C. Возникают они в обстановке локального прогрева магматическими массами окружающих толщ. Руды могут кристаллизоваться непосредственно из силикатных расплавов, но в подавляющем большинстве они образуют жилы и вкрапления в уже застывших магматических телах и в окружающих их толщах, прогретых магмами. Температурные условия образования рассматриваемых месторождений, их пространственное совмещение с магматическими телами свидетельствуют о ведущей роли магм в их происхождении. Но источники металлов и рудообразующих флюидов остаются неясными.

Большинство геологов считают, что полезное вещество данных месторождений и металлоносные флюиды заимствуются из магмы массивов, обнажающихся в рудных полях. Но такое представление вызывает ряд возражений. Если металлы и флюиды выносятся из наблюдаемых непосредственно магматических тел, то следовало бы ожидать прямой пропорциональной зависимости размеров рудных залежей от объемов магматических тел и содержания в магмах полезных металлов. На самом деле ни та, ни другая закономерность строго не выдерживается. С этих позиций трудно объяснить появление месторождений около одних массивов и отсутствие их рядом с другими.

Все эти несоответствия породили представления, согласно которым магмы лишь поставляют тепло, стимулирующее в окружающих их толщах циркуляцию содержащихся в них вод. Эти воды выщелачивают из окружающих пород полезные компоненты и отлагают их в виде руд. Эта концепция еще больше противоречит геологическим фактам.

Существует одно обстоятельство, которое определенно показывает, что единственным или, по крайней мере, главным источником полезных компонентов является магма. Тип металла месторождений зависит от химического состава магм. Никелевые месторождения сопровождают богатые MgO и бедные SiO<sub>2</sub> магматические тела. Золото преимущественно связано с обедненными SiO<sub>2</sub> и обогащенными Na<sub>2</sub>O магмами. Много и других примеров. Поэтому главные причины оруденения следует искать в магматических и сопровождающих их процессах. В рамках этого направления многие геологи обратились к проблеме участия в рудообразовании мантийных флюидов.

В самой общей форме предположение об участии трансмагматических флюидов в эндогенном рудообразовании было высказано Л. С. Бородиным и А. С. Павленко в 1970 г. Позднее Л. Н. Овчинников подкрепил его указанием на большое количество металлов, выносимых вулканическими газами. Д. С. Коржинский сформулировал условия образования сульфидов железа, меди и никеля в базальтовых расплавах пониженной щелочности. Л. И. Шабынин доказал, что часть железного оруденения магнезиально-скарновых месторождений образовалась за счет вещества трансмагматических флюидов. Автор настоящей статьи на материалах месторождений Норильского района подтвердил представления Д. С. Коржинского об участии потока трансмагматических флюидов в рудообразовании, развил их и конкретизировал. На этой основе автором статьи сформулирована общая гипотеза связи эндогенного оруденения с магматизмом: крупные рудные узлы и месторождения эндогенных руд образуются восстановленными трансмагматическими флюидами мантийного происхождения. Она распространяется на месторождения, образованные как до полной кристаллизации магмы, так и после их консолидации (затвердевания).

Рассмотрим в качественной форме модель формирования месторождений, какой она представляется в рамках гипотезы. Пробразом модели являются медно-никелевые месторождения Талнахского рудного узла, в которых часть сульфидных руд образовалась на магматическом этапе, до завершения кристаллизации базальтоидных расплавов.

Формирование месторождений предвзвешивается появлением в мантии магматических расплавов, проникающих главным образом инъекционным путем на поверхность земли или останавливающимся вблизи нее. По геофизическим данным, дополненным геологическими наблюдениями, строение магматической колонны представляется таким: в мантии существует обширный магматический бассейн, от которого поднимаются редкие, небольшого сечения трещинные или цилиндрические стволы — магматические колонны. Оси стволов не обязательно вертикальны. Вблизи земной поверхности, где давления понижены, стволы разветвляются на ряд крупных и мелких магматических тел и подводных вулканических каналов. Магматические массивы представляют собой некоторые из таких ответвлений.

В местах зарождения магм образуются восстановленные флюиды, которые движутся к поверхности земли по стволам магматических колонн. Они-то и образуют потоки трансмагматических флюидов. Механизм проникновения флюидов через магмы включает: гравитационный подъем пузырьков газа, перенос летучих порциями магмы, возможное движение флюидов по тонким пленкам и диффузию по жидкости. В головной части магматических колонн флюидный поток распределяется по ответвлениям — массивам. Интенсивность проработки массивов неодинакова, что, вероятно, определяется продолжительностью связи массива со стволом колонны, прерывающейся из-за перемещений крупных блоков горных пород.

Пока флюиды находятся в высоко-температурных расплавах ствольных и центральных частей массивов, состояние летучих не меняется. Но в приконтактных частях массивов из-за окисления и снижения температуры флюиды реагируют с расплавами, вызывая их метаматическое преобразование. Тепло окисляющихся флюидов усиливает кристаллизационно-гравитационную дифференциацию магмы. Эти процессы обсуждались выше. Важно отметить, что флюиды окисляются не только на контакте с окружающими породами, но и внутри магматических тел. Дело в том, что периферические части массивов с трансмагматическими флюидами образованы расплавами, возникшими в результате магматического замещения вмещающего толщ и потому высоко окисленными.

Под действием потока флюидов морфология и состав магматических массивов усложнится, возникнет вещественная зональность. За счет разложения флюидов и их реакции с магмой могут образоваться капли металлических и сульфидных расплавов, скопление которых ведет к образованию месторождения. Таким путем, на наш взгляд, возникли руды талнахских и норильских месторождений. При этом лишь некоторая часть полезных металлов заимствовывалась из магмы, а большая — привнесена трансмагматическими флюидами.

Для обсуждения возможности распространения гипотезы на послемагматические месторождения рассмотрим эволюцию магм, поднимающихся из глубин в более холодные верхние горизонты земной коры. По мере подъема тенденция магм к кристаллизации, очевидно, будет усиливаться. Но этому препятствует разогревающее действие трансмагматических флю-

идов. Можно предположить, что при определенных соотношениях интенсивности потока флюидов и температуры окружающей среды процесс кристаллизации станет преобладать и магма будет консолидироваться. У более вязких, богатых кремнеземом магм это должно случаться чаще, чем у менее вязких, базальтовых. Действительно, среди застывших в глубине магматических тел преобладают богатые кремнеземом гранитные массивы. Ниже уровня, на котором магма консолидировалась, температура внешней среды выше, и при соответствующем уровне притока флюидов расплавы здесь долгое время будут оставаться жидкими. Проходящие через них трансмагматические флюиды станут воздействовать на застывшие магматические породы головной части магматических колонн, отлагая в них руды послемагматического типа. В таких случаях масштабы послемагматического оруденения также контролируются трансмагматическими флюидами.

Что же нового вносит гипотеза об участии трансмагматических флюидов в проблеме связи эндогенного оруденения с магматизмом?

Поскольку полезные компоненты, согласно гипотезе, привносятся не магмами, а трансмагматическими флюидами, то обязательными становятся зависимости между размерами магматических тел и масштабами оруденения, между концентрацией полезных металлов в магмах и способностью их производить месторождения. Характерные сложные формы и состав продуктивных на промышленное оруденение магматических массивов объясняются в таком случае продолжительным действием трансмагматических флюидов и обширными явлениями магматического замещения метаматизма.



В заключение хотелось бы подчеркнуть, что гипотеза о трансмагматических флюидах, выдвинутая 30 лет назад Д. С. Коржинским и предназначавшаяся первоначально для объяснения сравнительно узкого круга явлений (образования магматических расплавов на месте твердых пород), может быть использована для расшифровки всего комплекса глубинных геологических процессов. Особенно важно, что гипотеза намечает новые пути в решении затруднений, возникших при расшифровке связи оруденения с магматизмом.

## Сверхдальняя радиоинтерферометрия

Л. И. Матвеенко



Леонид Иванович Матвеенко, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией сверхдальной радиоинтерферометрии Института космических исследований АН СССР. Занимается изучением структуры компактных космических объектов: ядер квазаров, галактик и лацертид, а также областями активного образования звезд и планетных систем. В «Природе» опубликовал статью: Радиоинтерферометрия со сверхвысоким угловым разрешением (1970, № 8).

Проблемы образования основных объектов Вселенной — галактик, их активных ядер, зарождения и формирования звезд и планетных систем относятся к важнейшим проблемам современной астрофизики и имеют большое значение для естествознания в целом. Их решение во многом определяется возможностью получить детальные изображения исследуемых космических объектов во всем спектре электромагнитного излучения — от гамма-до радиоволн, для чего необходимы инструменты с высокой разрешающей силой.

Разрешающая сила инструмента определяется размерами его зеркала  $D$ , выраженного в длинах волн:  $\Delta\varphi \approx \lambda/D$ . Чем больше размер зеркала и короче длина волны  $\lambda$  принимаемого излучения, тем точнее можно измерять отдельные детали изображения. Именно по этой причине оптические телескопы находятся в более выгодном положении по сравнению с самыми крупными радиотелескопами: радиоволны в сотни тысяч раз длиннее волн видимого диапазона, и поэтому разрешающая сила даже самых крупных современных радиотелескопов, размеры антенн которых достигают десятков, а порой и сотен метров, не превышает разрешающей силы невооруженного глаза. В этом смысле радиоастрономия долгое время находилась в догалилеевой эпохе.

Правда, определенные успехи были достигнуты благодаря применению метода лунных покрытий, предложенного Г. Г. Гетманцевым и В. Л. Гинзбургом. Суть метода заключается в следующем. Луна, двигаясь по небу, эпизодически закрывает те или иные космические объекты, или, как говорят астрономы, покрывает их. По мере того как отдельные части объекта закрываются от наблюдателя, происходит уменьшение приходящего от объекта излучения. Таким образом, по изменению регистрируемого сигнала можно определить распределение яркости по источнику — т. е. установить его структуру. В этом случае разрешающая сила равна  $\Delta\varphi \approx \sqrt{\lambda/D}$  (где  $D$  — расстояние от наблюдателя до Луны) и достигает нескольких секунд дуги. Но этот метод явно непригоден для изучения далеких компактных космических объектов, угловые размеры которых, согласно теоретическим оценкам, не превышают нескольких сотых секунды дуги.

### РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ СО СВЕРХВЫСОКИМ РАЗРЕШЕНИЕМ

Успехи квантовой радиофизики, и в частности разработка в Физическом институте им. П. Н. Лебедева АН СССР высокочувствительных малощумящих ус-

лителей мазерного типа и атомных стандартов частоты, достижения антенной и вычислительной техники создали предпосылки для принципиально нового метода исследований источников космического радиоизлучения со сверхвысоким угловым разрешением.

Метод сверхдальней радиоинтерферометрии заключается в приеме сигналов от источника космического радиоизлучения далеко разнесенными антеннами. Мощность принимаемых сигналов столь

Затем проводится преобразование сигналов — понижение их частоты до видеополосы и запись на видеоманитфон. Подобное преобразование необходимо проводить в связи с тем, что современные магнитофоны не могут регистрировать очень высоких частот. Чтобы не исказить фазу сигнала, преобразование ведется с помощью атомных стандартов частоты. Кроме того, для исключения неравномерности протяжки магнитных лент магнитофонов сигналы считываются на ленту

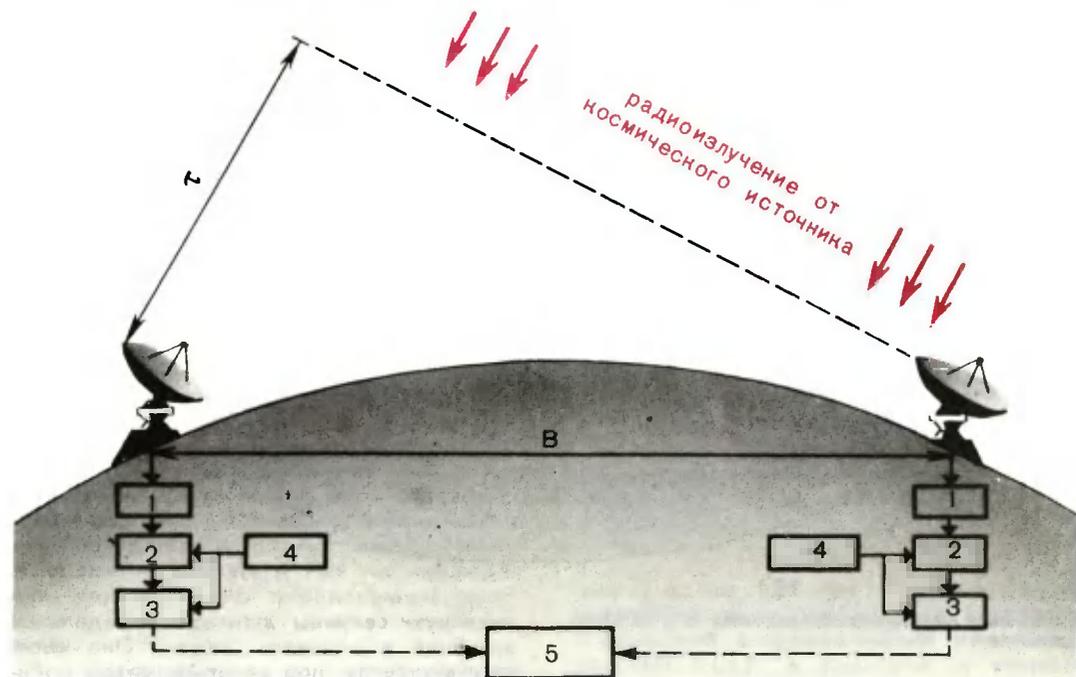


Схема радиоинтерферометра со сверхдлинной базой: В — расстояние между антеннами;  $\tau$  — относительное запаздывание сигналов от источника космического радиоизлучения; 1 — мазер; 2 — преобразователь; 3 — видеоманитфон; 4 — атомный стандарт частоты; 5 — ЭВМ.

ничтожна, что для их усиления приходится использовать необычайно чувствительные усилители. (Достаточно сказать, что энергия всех радиосигналов, принятых от космических источников за все время существования радиоастрономии, не превышает кинетической энергии одной падающей снежинки.)

через равные промежутки времени с помощью тех же атомных стандартов. Они же обеспечивают и синхронность записи сигналов на обеих антеннах. (Стабильность работы атомного стандарта частоты водородного типа настолько высока, что синхронность хода часов выдерживается с точностью до одной миллионной доли секунды в течение нескольких лет.) Затем записи сигналов от источника космического радиоизлучения передают в вычислительный центр и обрабатывают на специальной ЭВМ.

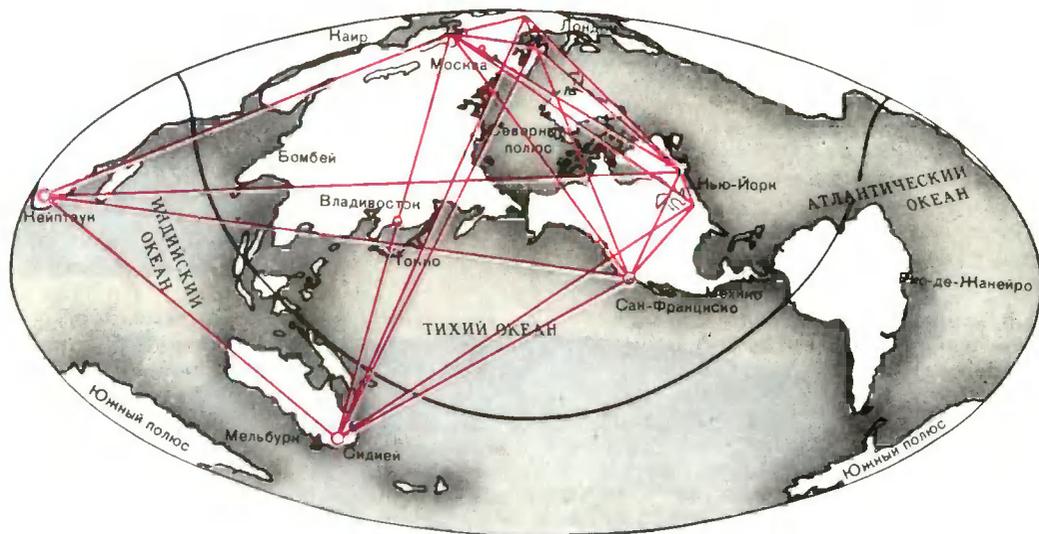
В результате обработки сигналов (перемножения двух последовательностей импульсов) получают так называемые интерференционные лепестки, эквивалентные

интерференционным полосам в интерферометре Майкельсона. Амплитуда этих лепестков — амплитуда сигнала — непосредственно связана с распределением яркости в объекте.

В отличие от обычного телескопа, с помощью радиоинтерференционного метода получается не изображение объекта, а его Фурье-образ. Как известно, изображение любого объекта может быть представлено в виде набора гармоник — синусоидальных сигналов разной частоты и амплитуды, подобно тому как звучание

определяется максимальным расстоянием между антеннами:  $\Delta\varphi \approx \lambda/V$ .

В методе сверхдальней радиоинтерферометрии пункты наблюдений непосредственно не связаны между собой, и расстояние между ними может быть сделано сколь угодно большим, а следовательно, разрешающая сила интерферометра — сколь угодно высокой. В настоящее время создана глобальная радиоинтерференционная сеть, угловое разрешение которой превышает одну десяти-



Глобальная радиоинтерференционная сеть на длине волны 18 см.

симфонического оркестра может быть разложено на отдельные чистые тона разной громкости. Радиоинтерферометр, подобно камертону, реагирует на определенную гармонику, а его настройка зависит от расстояния между антеннами — т. е. от длины базы  $B$ . Чем больше это расстояние, тем более высокий тон регистрирует радиоинтерферометр. Наблюдая источник с помощью радиоинтерферометра, расстояние между антеннами которого можно менять, исследователи измеряют все гармоники сигналов и по ним рассчитывают (синтезируют) изображение объекта. При этом угловое разрешение

тысячную секунду дуги. Это предельное значение в условиях Земли. Оно соответствует углу, под которым видна орбита электрона в атоме водорода с расстояния около 20 см. Достигнутое разрешение в тысячу раз превышает разрешающую силу лучших оптических телескопов.

В настоящее время глобальная радиоинтерференционная сеть включает в себя практически все крупные радиотелескопы мира, расположенные в Европе, Африке, Австралии, Северной и Южной Америке, Японии. Максимальные расстояния между радиотелескопами по прямой достигают 11 тыс. км (напомним, что диаметр Земли примерно равен 12 тыс. км). Исследования астрономических объектов проводятся в широком диапазоне радиоволн: от самых коротких (сантиметровых) до метровых включительно. Так, с помощью прецизионных радиотелескопов,

расположенных в Австралии (Тидбинбилла), СССР (Кацивели), ФРГ (Эффельсберг), Швеции (Онсала), США (Хайстек, Мериленд Пойнт и Овенс Велли), проводятся исследования компактных радиоисточников на длине волны 1,35 см. Угловое разрешение сети достигает 50 микросекунд дуги. На длине волны 18 см эта сеть дополняется радиотелескопами Англии (Джодрелл Бэнк), Голландии (Двингелоо), Канады, Африки и рядом инструментов США. Угловое разрешение сети на этой длине волны равно примерно 200 микросекундам дуги.

Каждый из радиотелескопов представляет собой сложный радиотехнический комплекс, оснащенный автоматикой и вычислительными устройствами, криогенными системами и другими сложными вспомогательными механизмами. Для четкой работы столь сложного инструмента необходима не только высокая квалификация, но и широкий кругозор исследователей — участников эксперимента. Синхронные наблюдения, проводимые на многих радиотелескопах сразу, требуют от участников работы необычайно высокой ответственности, организованности и оперативности. Поэтому каждому эксперименту предшествует тщательная подготовка, длящаяся порой несколько месяцев. Необходимо предусмотреть все — мелочей здесь не бывает; ведь потом, уже в ходе наблюдений, что-либо изменить практически невозможно. Для этого нужно, как минимум, связаться со всеми участниками, а они находятся в разных частях света. А времени для этого нет — наблюдения, ведущиеся по определенной программе, как правило, длятся не более суток.

Одновременное использование в глобальной сети многих радиотелескопов позволяет получить большое число баз радиоинтерферометров разной длины и ориентации и, таким образом, существенно повысить информативность измерений. (Количество баз, образуемых из  $n$  радиотелескопов, равно  $n(n-1)/2$ .) Это, конечно, существенно увеличивает время обработки данных наблюдений; обычно требуется несколько месяцев для получения детального изображения объекта. Но сколь бы ни были сложны и трудоемки исследования объектов методом сверхдальней радиоинтерферометрии, получаемые результаты полностью оправдывают усилия многонациональных коллективов.

У нас в стране систематические наблюдения в радиодиапазоне проводятся и на отечественном радиоинтерферометре



Прецизионный радиотелескоп Крымской астрофизической обсерватории.

(длина волны 1,35 см). Один из радиотелескопов этого инструмента находится в Крымской астрофизической обсерватории АН СССР, в Кацивели, а вторым является радиотелескоп Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР в Пущино. Расстояние между ними составляет около 1300 км; оба имеют точные 22-метровые параболические антенны. Обработка данных наблюдений осуществляется по специальным программам в вычислительном центре Института космических исследований АН СССР.

## ОБЪЕКТЫ С АКТИВНЫМИ ЯДРАМИ

Выше мы уже говорили о том, что космические объекты излучают широкий спектр электромагнитных волн, в том числе и радиоволны. Как правило, интенсивность излучения растет с увеличением длины волны и преобладает на волнах дециметрового — метрового диапазонов.

Оно связано с излучением разреженного горячего газа, окружающего эти космические объекты. Однако, после того как были созданы прецизионные радиотелескопы и начались исследования радиоисточников на коротких сантиметровых и даже миллиметровых длинах волн, выяснилось, что ряд радиоисточников имеет повышенное излучение именно в этом диапазоне.

Подобный результат был полной неожиданностью. Из общих теоретических соображений отсюда следовало, что объекты с такими спектрами должны содержать необычайно горячие релятивистские электроны: ведь только они могут дать повышенное излучение на миллиметровых волнах. Но, с другой стороны, время «высвечивания» таких электронов ничтожно мало по сравнению с временем жизни самого объекта. Напрашивался вывод, что такие электроны рождаются в настоящее время; вероятно, они появляются в результате каких-то активных процессов, протекающих в ядрах исследуемых объектов. Трудно предположить, чтобы количество выбрасываемых частиц было строго постоянным во времени; следовательно, данные источники должны быть переменными. И действительно, было установлено, что интенсивность их излучения меняется в течение нескольких месяцев.

Поскольку время «высвечивания» электронов высоких энергий мало, они не могут уйти далеко от ядра и, следовательно, должны быть сосредоточены в компактной области. Этот вывод подтверждало и обнаружение переменности излучения от объекта; ведь размеры источника не могут быть больше, чем расстояние, которое проходит излучение за время его изменения.

Столь удивительные объекты, названные впоследствии квазарами, сразу же привлекли внимание исследователей, ведущих наблюдение в оптическом диапазоне; были детально исследованы фотопластины соответствующих участков неба, и на месте радиоисточников удалось обнаружить какие-то голубоватые звезды. Вначале сочли, что это просто галактические звезды необычной природы, но дальнейшие исследования позволили установить, что излучаемые в оптическом диапазоне спектра линии сильно сдвинуты в красную сторону. Тогда, если исходить из общепринятой расширяющейся модели Вселенной, квазары должны находиться на огромных от нас расстояниях — практически на границе Вселенной. Но чтобы мы смогли

их увидеть, их излучение должно быть необычайно мощным.

Какова же природа этих ядер, в чем источник их энергии? Чтобы ответить на эти вопросы, необходимы были дальнейшие исследования и прежде всего установление структуры этих объектов с высоким угловым разрешением. Однако угловые размеры ядер на столь огромных расстояниях не превышают одной тысячной секунды дуги, поэтому поставленная задача оказалась не под силу даже самым совершенным оптическим телескопам.

Тайну квазизвезд, или квазаров, открыла радиоастрономия, от которой этого менее всего ожидали. Исследования квазаров, проведенные с помощью глобальной радиоинтерференционной сети со сверхвысоким угловым разрешением, показали, что они имеют сложную структуру, состоящую из собственно ядра и нескольких компактных деталей, яркость которых меняется со временем. В первый момент появления — выброса из ядра — их температура достигает  $10^{12}$  К, а порой и выше. Именно тогда мы и наблюдаем вспышку радиоизлучения. Было установлено, что из ядра выбрасываются сгустки электронов очень высокой энергии, которые и являются мощным источником радиоизлучения в миллиметровом диапазоне длин волн.

Хотя объекты с активными ядрами подразделяют на квазары, радиогалактики и лацерииды, их ядра имеют много общих свойств; более того, трудно даже сказать, в чем их отличие. И кто знает, возможно, в недалеком будущем мы отнесем их все к объектам одного класса — галактикам, отличающимся лишь фазой активности ядра, поскольку, вполне вероятно, именно активность ядра отражает ту или иную эпоху в его эволюции.

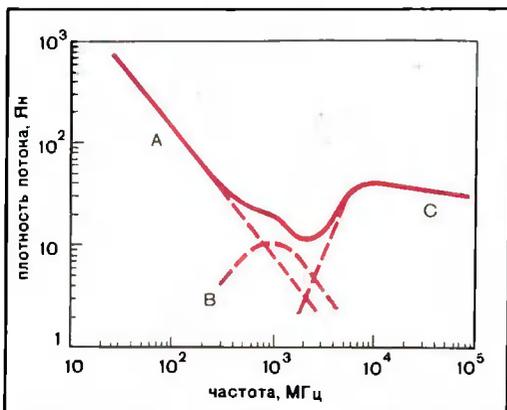
Рассмотрим более подробно некоторые из этих интереснейших объектов Вселенной.

### РАДИОИСТОЧНИК ПЕРСЕЙ А

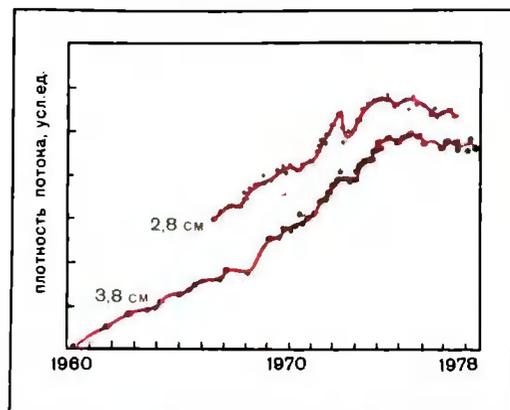
Одним из таких объектов является мощный источник радиоизлучения в диапазоне сантиметровых волн — Персей А (или 3С 48). По одним представлениям, это сталкивающиеся галактики, по другим — взрывающаяся галактика. Спектральные линии, излучаемые объектом, — двойные. «Раздвоение» линий связано с тем, что они излучаются двумя областями, движущимися друг относительно друга со скоростью 600 км/с. Длинноволновое ра-

диоизлучение объекта определяется достаточно протяженным гало, угловые размеры которого достигают 5 мин. Интенсивность этого излучения достаточно быстро падает с уменьшением длины волны. Но на еще более коротких длинах волн начинает преобладать излучение ядра. В конце 50-х годов радиоизлучение ядра начало существенно увеличиваться на длинах волн сантиметрового диапазона. Детальный анализ этого явления показал, что возрастание потока связано с часто повто-

Наблюдения на еще более короткой длине волны ( $\lambda=1,35$  см) открыли удивительную картину — центральная область оказалась двойной системой, состоящей из двух ядер и сопутствующих им групп ярких компонентов (восточной и западной систем), расстояние между которыми составляет 2 св. года. Яркостная температура этих источников радиоизлучения достигает огромной величины —  $10^{12}$  К, что свидетельствует об очень высокой энергии излучающих электронов.



Суммарный спектр источника Персей А [ЗС 84]: А — радиоизлучение гало, В — радиоизлучение ядра, С — часто повторяющиеся вспышки радиоизлучения.

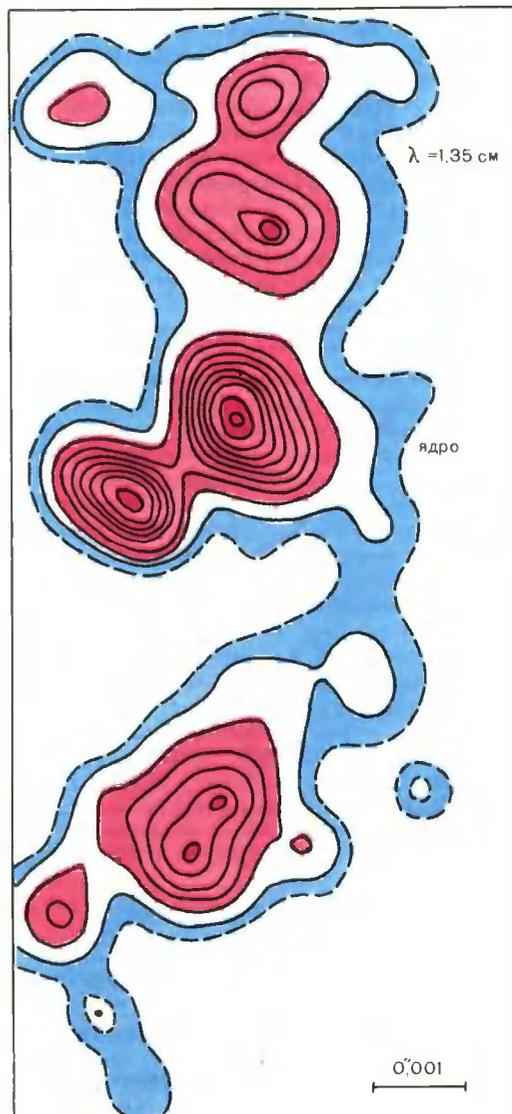
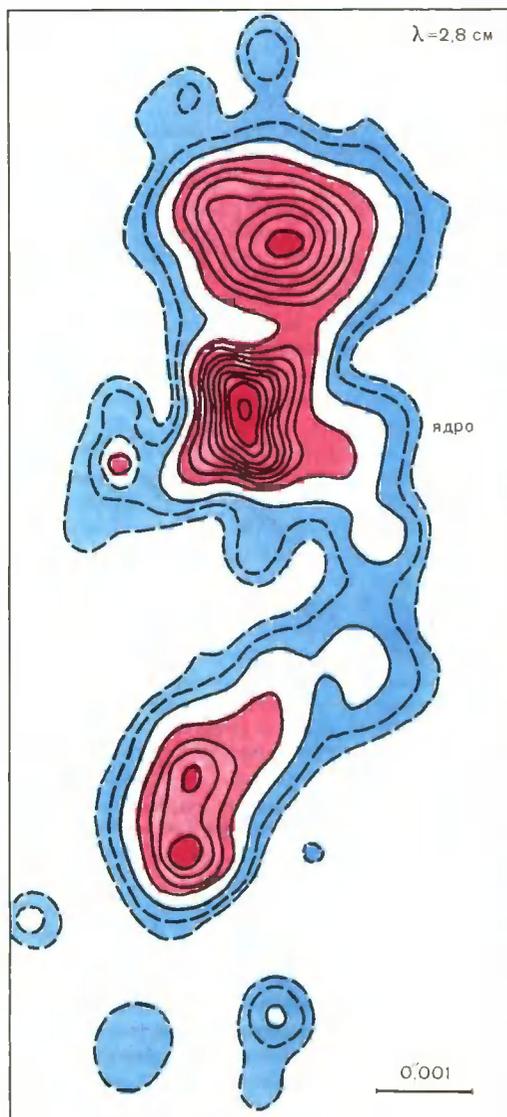


Изменение плотности потока радиоизлучения от источника ЗС 84 на длинах волн 2,8 и 3,8 см.

ряющимися вспышками радиоизлучения, которые накладываются друг на друга; они и ответственны за высокочастотное излучение радиоисточника.

Активность ядра определяет структуру центральной части объекта. Симметрично к северу и югу от ядра находятся две яркие детали, угловые размеры которых равны 8 мс дуги. Расстояние между ними достигает 37 мс дуги. Их излучение преобладает в диапазоне дециметровых волн — так называемая компонента В. На более коротких волнах структура ядра существенно иная; так, на длине волны 3 см видно излучение самого ядра, точнее, окружающей его оболочки и двух компонент, расположенных на расстоянии около 10 мс дуги симметрично относительно него. Структура каждой из компонент достаточно сложная, а размеры отдельных деталей не превышают 1 мс дуги.

Перед исследователями, естественно, встал вопрос — почему на более длинных волнах видна только одна система? Сравнение изображений на длинах волн 2,8 и 1,35 см показали, что восточная система видна и на длине волны 2,8 см, но ее излучение ничтожно мало, поэтому отдельные детали едва различимы. Было найдено достаточно простое объяснение этому результату: ядра объектов окружены ионизированной атмосферой, которая, с одной стороны, поглощает радиоизлучение, а с другой — излучает линии в оптическом диапазоне. Плотность атмосферы восточной системы настолько высока, что она становится прозрачной только на самых коротких, сантиметровых волнах, в то время как атмосфера западной системы менее плотная, и она поглощает излучение только на дециметровых волнах. Поэтому излу-



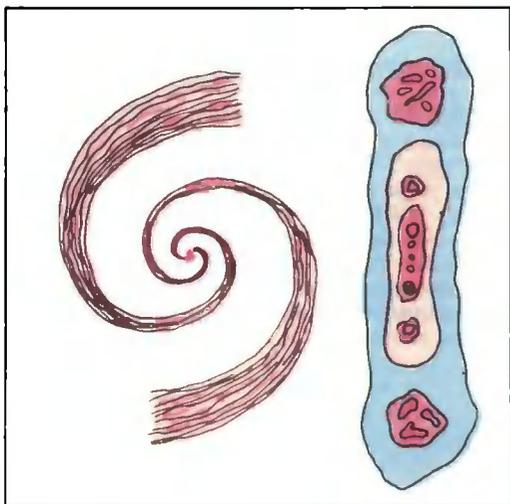
Распределение радиояркости источника 3С 84 на длинах волн 2,8 см (слева) и 1,35 см (справа). Переход к более коротким длинам волн позволил выявить детали структуры ядра источника.

чаемые ею оптические линии более слабые, чем линии восточной системы.

Удалось измерить изменение плотности атмосферы по мере удаления от ядра. Оказалось, что плотность электронов падает пропорционально квадрату расстояния. В то же время магнитное поле изменяется значительно медленнее.

Полученные детальные изображения

источника Персей А позволили построить его модель. Оба ядра окружены спиральными магнитными полями, плоскости которых параллельны друг другу и находятся на расстоянии 2 св. лет одно от другого. Эта двойная система повернута к нам ребром. В результате активных процессов из ядер выбрасываются частицы высоких энергий, которые движутся вдоль магнитных силовых линий. В тангенциальных направлениях на луче зрения количество частиц оказывается существенно больше, чем в других направлениях, поэтому здесь и наблюдаются яркие радиоисточники, количество и размеры ко-



Модель распределения магнитного поля (слева) и радиовласти в ядре источника 3С 48.

торых определяются структурой магнитного поля.

По мере удаления от ядра уменьшается энергия частиц — она переходит в радиоизлучение; уменьшается и напряженность магнитного поля. Поэтому чем дальше от ядра, тем ниже частота наблюдаемого излучения, при этом размеры источников увеличиваются. Возможно, на больших расстояниях магнитные спиральные поля обеих систем сливаются и образуют единую систему.

Кроме частиц высоких энергий из ядер выбрасываются и частицы малых энергий, которые образуют вокруг ядер ионизованную атмосферу. Этот ионизованный газ излучает эмиссионные линии в оптическом диапазоне и одновременно поглощает радиоизлучение. Прозрачность газа падает пропорционально квадрату длины волны, поэтому излучение от ядер мы видим только на коротких сантиметровых волнах.

Выброс релятивистских частиц происходит не непрерывно, а отдельными «порциями». Поэтому меняется заполнение частицами пространства вдоль магнитных силовых линий, соответственно меняется и яркость отдельных источников, но их относительное положение остается прежним.

И. С. Шкловский высказал предположение, что ядра обеих систем гравитационно связаны между собой, а так как их относительная скорость движения равна

600 км/с, то период обращения составляет 10 тыс. лет. Масса ядер достигает  $10^8$  солнечных масс, а размеры не превышают 0,1 св. года. Таким образом, ядра радиосточника Персей А оказываются компактными сверхмассивными телами с сильным магнитным полем, которые вращаются вокруг своих осей. Оси вращения столь массивных тел длительно сохраняют свое положение в пространстве, поэтому выброс частиц высоких энергий происходит каждый раз в одном и том же направлении.

### КВАЗАР 3С 345

В ядрах ряда других объектов наблюдаются более активные процессы, которые накладывают отпечаток на структуру их центральных областей. К таким объектам относится, в частности, квазар 3С 345, который, как и источник Персей А, детально исследовался нами с помощью глобальной радиоинтерференционной сети. Систематические наблюдения в широком диапазоне длин волн позволили проследить эволюцию этого квазара, изменение отдельных его компонентов.

Было установлено, что в результате активных процессов из ядра выбрасывается сгусток релятивистских частиц, излучение которых вначале наблюдается на коротких, сантиметровых волнах. По мере удаления сгустка от ядра происходит увеличение его размера, а скорость движения постепенно снижается; его радиоизлучение становится все более низкочастотным. Взрывы в ядре эпизодически повторяются, и в результате наблюдается цепочка источников, движущихся друг за другом. Чем дальше от ядра такой источник, тем сильнее его излучение смещается в сторону более длинных волн, тем более длительное время он излучает. В результате на определенном расстоянии от ядра начинает формироваться тонкая вытянутая струя из частиц высоких энергий, излучение которых преобладает в диапазоне дециметровых длин волн. По мере удаления от ядра струя постепенно рассасывается в межзвездном пространстве. Каждой такой струе соответствует определенная эпоха активности ядра. Таким образом, наблюдаемые у квазара 3С 345 вытянутые компоненты, расположенные на разных расстояниях от ядра, являющиеся своеобразной летописью его эволюции.

Изучая поведение отдельных выбросов вещества, исследователи обнаружили, что ориентация выбросов определенным

образом меняется по мере удаления от ядра, т. е. направление выброса сохраняется в течение одной эпохи активности ядра, но изменяется к следующей. Возможно, активные процессы действуют подобно гигантскому реактивному двигателю, который с огромной скоростью выбрасывает колоссальные массы вещества. Чтобы сместить ось вращения ядра, недостаточно выброса одного сгустка, но энергия космического реактивного двигателя в течение всего периода активности ядра может оказаться достаточно большой. Последующий период активности будет происходить при другом позиционном угле, а соответствующая струя вещества будет выбрасываться в другом направлении.

### КВАЗАР 3С 273

Это — объект, в ядре которого происходят наиболее активные процессы. Достаточно сказать, что в предшествующую эпоху его активности из ядра была выброшена струя вещества протяженностью в 100 тыс. св. лет. В настоящее время наблюдается новая эпоха активности 3С 273. Выброс вещества происходит с видимой скоростью, превышающей скорость света. Этому необычному явлению было найдено достаточно простое объяснение.

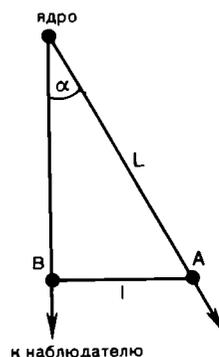
Необычайно высокая активность ядра приводит к выбросу облаков релятивистских частиц со скоростью, близкой к скорости света. Это облако излучает не равномерно во все стороны, а в узком конусе, в направлении своего движения. И чем ближе его скорость к скорости света, тем уже этот конус. Поэтому наблюдатель может увидеть излучение, только если облако частиц движется в близком к нему направлении.

Источник, двигаясь со скоростью  $v$ , пройдет за время  $\Delta t$  расстояние, равное  $L = v\Delta t$ . Наблюдатель видит перемещение источника в картинной плоскости (на небесной сфере), равное проекции этого расстояния  $l = L \sin \alpha$ . Чтобы определить скорость **видимого** перемещения источника, необходимо разделить его величину на время этого перемещения. В связи с конечным временем распространения сигнала мы увидим первоначальное положение источника с запаздыванием, определяемым временем прохождения сигналом расстояния  $L \cos \alpha / c$ . Время **видимого** перемещения источника в картинной плоскости будет равно разности времени его нахо-

ждения в точке В и в точке А (см. рис.), т. е.

$$\left(1 - \frac{v}{c} \cos \alpha\right) \Delta t. \text{ Отсюда скорость } \text{видимого} \\ \text{движения источника равна } v_{\perp} = \\ = \frac{v \sin \alpha}{1 - \frac{v}{c} \cos \alpha} \approx \gamma c, \text{ где } \gamma = 1 / \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2 \cos^2 \alpha}.$$

Таким образом, при движении радиоисточника со скоростью, близкой к скорости света, в направлении, почти совпадающем с направлением на наблюдателя, скорость его **видимого** движения будет выше скорости света.



Выброс релятивистских электронов из ядра квазара 3С 273 происходит под углом  $\alpha$  к направлению на наблюдателя.

Это явление и наблюдается в квазаре 3С 273. Скорость движения его компонент в десять раз превышает скорость света. При движении с такой скоростью (истинная скорость движения источника достигает 0,995 с) излучение происходит в узком конусе, ширина которого составляет примерно  $10^\circ$ . Вероятность увидеть такие объекты достаточно мала. И действительно, из многих тысяч объектов с активными ядрами наберется едва ли с десяток, излучение которых направлено на нас.

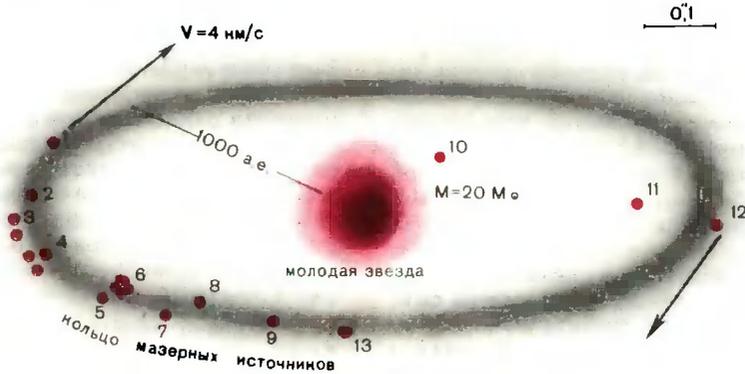
Итак, метод сверхдальней радиоинтерферометрии многое открыл нам в явлениях, протекающих в объектах с активными ядрами. Но еще предстоит понять механизм трансформации энергии вращающегося сверхмассивного тела в кинетическую энергию движения огромных масс вещества, превращения ее в релятивистские частицы.

## ПРОТОЗВЕЗДЫ И ПРОТОПЛАНЕТЫ

Не менее интересная картина предстала перед радиоастрономами при исследовании на первый взгляд ничем не примечательных газово-пылевых туманностей — наших соседей по Галактике. Предполагалось, что в них под действием гравитационных сил происходит сжатие газа и пыли в отдельные конденсации, из которых затем могут образоваться звезды и планетные системы. Но увидеть столь малые объекты или системы с расстояния

оптическими терминами, лазер, образуется молекулами гидроксила  $\text{OH}$  и излучает линию на длине волны 18 см. Позднее был обнаружен и второй тип лазера — на молекулах водяного пара  $\text{H}_2\text{O}$ , излучающего на длине волны 1,35 см. Уже сам по себе этот факт был знаменателен — гидроксил и вода были обнаружены в областях, где только начинают формироваться звезды и планетные системы.

Исследования газово-пылевых туманностей с высоким угловым разрешением



Распределение мазерных  $\text{H}_2\text{O}$ -источников в объекте W3 ОМ.

в десятки тысяч световых лет не представлялось возможным. Для этого нужно было иметь инструмент с угловым разрешением около 1 мс дуги. Как и в предыдущем случае, на помощь пришла сверхдальняя радиоинтерферометрия.

В конце 60-х годов в газово-пылевых туманностях было обнаружено излучение необычайной природы. Оно исходило из компактных областей и наблюдалось в виде ярких эмиссионных радиолиний. Из-за своей загадочности они получили название «мистериума». И. С. Шкловский предположил, что это излучение определяется мазерным механизмом, тем самым мазерным механизмом, благодаря которому работают мазерные усилители и атомные генераторы частоты. Только в данном случае космический мазерный усилитель сопутствует процессу образования звезд и планетных систем. Космический мазер, или, говоря

показали, что мазерные источники группируются в отдельных областях — центрах активности. В каждой из туманностей находятся до 10 таких центров, что свидетельствует о групповом образовании звезд. Каждый мазерный источник имеет определенную скорость движения, что приводит к изменению наблюдаемой частоты линии, подобно тому как меняется высота звука гудка проходящей мимо электрички. По изменению частоты линии можно определить скорость движения источника относительно наблюдателя. Оказалось, что наиболее яркие мазерные источники имеют скорости, не превышающие 15 км/с, и сосредоточены в зонах, размеры которых составляют около 1000 а. е.<sup>1</sup> Протяженность каждого источника примерно равна 1 а. е.

Обычно мазерные источники группируются в диске или кольце. Так, например, в объекте W 51 они сосредоточены в диске радиусом 1000 а. е. и толщиной около 100 а. е. Скорость дви-

<sup>1</sup> Астрономическая единица (а. е.) — единица расстояния в астрономии, равная среднему расстоянию Земли от Солнца, — составляет 149,6 млн км.

жения мазерных источников равна 10 км/с. В объекте W3 OH мазерные источники группируются в кольцо и движутся со скоростью 4 км/с. Радиус кольца примерно равен 1000 а. е. Мазерные источники удерживаются от разлета гравитационным полем молодой формирующейся звезды, расположенной в центральной части зоны активности. Масса такой звезды должна быть равна 20—40 солнечным массам.

Кольцевая структура наблюдается и в объекте Орион А. Его необычайно яркая линия определяется излучением кольцевого мазерного источника; радиус кольца равен 6 а. е. Вероятно, кольцо состоит из нескольких более тонких протопланетных колец, поперечное сечение которых не превышает 0,2 а. е. Их масса примерно равна массе Земли. Кольца движутся со скоростью 8,5 км/с вокруг звезды, масса которой равна массе Солнца.

Активные зоны окружены областями, в которых находятся мазерные источники, движущиеся со скоростями около 250 км/с. Их излучение обычно невелико. В процессе формирования звезды ее вещество сжимается под действием гравитационных сил, происходит сильный разогрев вещества и в результате часть его выбрасывается в окружающее пространство, с которым оно взаимодействует, образуя высокоскоростные мазерные источники.

Итак, наши знания о зарождении звезд и планетных систем существенно обогатились благодаря сверхдальней радиоинтерферометрии. Мы смогли проследить процесс формирования протопланетных колец — прообраз будущих планет. Исследования продолжаются, они позволяют увидеть движение отдельных мазерных источников вокруг звезды, понять механизм и условия возникновения мазерного излучения.

### ПЕРСПЕКТИВЫ СВЕРХДАЛЬНОЙ РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

Радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами делает свои первые шаги. С момента ее зарождения не прошло еще и 20 лет — срок весьма небольшой для такой науки, как астрономия. Но успехи этого метода очевидны. Дальнейшие перспективы его развития связаны как с совершенствованием уже существующих инструментов, так и с дальнейшим повышением углового разрешения новых приборов. В первом случае усилия специалистов направлены на создание постоянно действующих глобальных ра-

диоинтерференционных систем. Использование космических ретрансляторов позволит передать сигналы с радиотелескопов на единый центр обработки данных и получать изображение объекта в течение очень короткого времени. С помощью таких систем можно будет исследовать вспышки в квазарах и мазерных источниках, измерять изменения их скоростей и размеров, получать «мгновенные» изображения объектов.

Весьма перспективно создание космического радиоинтерферометра — инструмента с практически неограниченным угловым разрешением. Развитие космической техники и средств доставки на орбиту вокруг Земли уже сегодня делают возможной реализацию этого проекта. Космический радиотелескоп в сочетании с глобальной радиоинтерференционной сетью позволит за короткое время измерить все гармоники Фурье-изображения и получить точную радиофотографию объекта с необходимым угловым разрешением, в том числе и изображения областей вспышек в квазарах.

Однако накопленные результаты наблюдений показывают, что предел углового разрешения все же существует и определяется рассеянием радиоволн на неоднородностях межзвездной среды. Предельная длина базы  $B$ , определяемая этим рассеянием, составляет  $10^6 \lambda^{-1}$  км, где  $\lambda$  выражена в сантиметрах. На длине волны в 1 см длина базы может достигать  $10^6$  км, а разрешение будет составлять около 1 мкс дуги. На волнах метрового диапазона длины баз не должны выходить за пределы континентов. Определенным ограничением для углового разрешения является и чувствительность радиотелескопов, которая зависит от размеров антенн и шумов инструментов, включая и шумы усилителей.

По сравнению с традиционной оптической астрономией радиоастрономия оказывается в крайне невыгодном положении еще по одной причине. Все мы знаем, что астрономы наблюдают звезды ночью и не просто ночью, а в те ночи, когда «не светит» Луна. Для радиоастрономов нет такого понятия, как ночь и день. Солнце — далеко не единственный источник мощного радиоизлучения. Так, например, на метровых волнах само небо (межзвездный газ) необычайно яркое. На сантиметровых волнах очень сильно излучает Земля, и радиоастроном наблюдает источники как бы из освещенной «комнаты». Поэтому приходится прибегать ко

всяческим ухищрениям, чтобы снизить такие «подсветки».

В заключение хотелось бы отметить, что радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами открывает широкие перспективы не только в астрофизике, но и при решении задач геофизики, астрометрии, астронавигации, геодезии и других направлений. Это определяется возможностью прецизионно измерять углы и расстояния. Современные системы радиоинтерферометрии позволяют проводить измерение длин баз с точностью до нескольких десятков сантиметров, а углов — до 1 мс дуги. Если же измерять относительные величины, то точность становится еще выше. Таким образом, если систематически изме-

рять длину базы, то можно определить ее изменение из-за смещений отдельных участков земной коры и по этому изменению судить о ее состоянии, что позволяет прогнозировать землетрясения. Высокая точность, с которой определяется положение источника на небесной сфере, позволяет измерять координаты космического аппарата. Так, положение американских астронавтов на лунной поверхности регистрировалось с точностью до 20 см; с высокой точностью регистрировалась и скорость спускаемых зондов в атмосфере Венеры. А впереди дальнейшее совершенствование метода и решение новых задач.

## ПРИРОДА

### АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ИЗВЕСТИЯ

#### ОРБИТЫ СПЕКТРАЛЬНО ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД

По смещению линий в спектре можно судить о движении светила по лучу зрения. Если линия смещается к фиолетовому краю спектра, это указывает на приближение к нам светила, если к красному концу — на удаление. Если же линии в спектре звезды перемещаются периодически в одну и в другую сторону, то это значит, что звезда двойная. Эта двойная система такая тесная, что составляющие ее не могут быть видны каждая отдельно даже в большую трубу, но когда два тела составляют одну систему, они необходимо должны перемещаться вокруг общего центра тяжести и таким образом каждое из них в определенное время к нам приближается, в другое удаляется. Эти-то удаления и приближения и сказываются в спектре периодическим смещением линий. Иногда эти перемещения можно определить только до одного, наиболее яркого тела, но в некоторых случаях и для

обоих. В настоящее время, когда умеют фотографировать спектры даже сравнительно слабых звезд, открыто много уже звезд с периодическим смещением линий. Для большинства из них оказалось возможным вычислить и те орбиты, по которым они движутся. Время обращения для таких спектрально двойных звезд обыкновенно очень небольшое — всего несколько дней. Но особенно интересными являются такие звезды, двойственность которых открыта по смещению линий в спектре, но время обращения которых равняется нескольким годам. Они являются как раз на границе двух групп: 1) тесных двойных систем, не разделяемых трубой, изучение которых возможно только с помощью спектроскопа и 2) более обширных систем, составляющие которых могут быть видны глазом в трубу при большем или меньшем увеличении.

Таких звезд известно пока три: альфа Орiona, альфа Скорпиона и гамма Близнецов.

## Органические соединения в атмосфере Земли

Б. В. Иоффе, В. А. Исидоров



Борис Вениаминович Иоффе, доктор химических наук, профессор химического факультета Ленинградского государственного университета им. А. А. Жданова, руководитель лаборатории газовой хроматографии. Основные научные интересы лежат в области органической химии гидразинов, физико-химических методов исследования строения органических соединений.



Валерий Алексеевич Исидоров, кандидат химических наук, старший научный сотрудник той же лаборатории. Работает в области химии атмосферы.

Детальные исследования органических соединений в земной атмосфере были стимулированы возникновением угрозы здоровью человека при фотохимическом загрязнении воздушных бассейнов городов, однако в настоящее время они вышли за рамки этой проблемы. В последние годы шло интенсивное накопление данных о составе атмосферы и протекающих в ней химических процессах. В результате этих исследований было установлено, что роль органических веществ в атмосферных процессах несоизмерима с их концентрацией. По нашему мнению, в минувшее десятилетие были заложены основы новой естественнонаучной дисциплины — органической химии земной атмосферы, изучающей источники и химические превращения органи-

ческих соединений в атмосфере. Специфика этого нового направления заключается в том, что описание происходящих в ней химических процессов возможно лишь при условии учета динамики и радиационного баланса атмосферы.

Присутствие в воздухе различных органических соединений — факт общеизвестный. О нем постоянно сигнализируют наши органы обоняния, так как почти все запахи, будь то благоухание цветов и душистый запах свежескошенной травы или зловоние разлагающихся растительных и животных тканей, ощущаются нами благодаря выделению в воздух органических веществ.

Еще Д. И. Менделеев отмечал, что в воздухе «всегда содержится изменчивое ко-

личество (более в городах и лесах, менее в горах) углеводородных веществ, подобных болотному газу»<sup>1</sup>. Примечательно, что в этих словах, написанных еще в прошлом веке, уже содержится указание на два основных источника атмосферных органических соединений: антропогенный, связанный с производственной деятельностью человека, наиболее интенсивной в городах, и биогенный, связанный с функционированием живого вещества планеты.

Мы не ошибемся, пожалуй, если скажем, что в изучение биогенных органических компонентов атмосферы значительный вклад внесли советские исследователи. Еще в конце 20-х годов работами Б. П. Токина, а позднее — многих его последователей, были заложены основы учения о фитонцидах. Эти летучие органические метаболиты содержатся в тканях растений и выделяются ими в атмосферу постоянно, или синтезируются в качестве ответной реакции на их повреждение<sup>2</sup>. Выделение фитонцидов, обладающих антимикробным действием, — универсальное свойство, присутствующее у всех представителей растительного мира. Отметим, что выделение в окружающую среду летучих органических веществ (ЛОВ) характерно, очевидно, для всех живых организмов.

Функции биогенных ЛОВ разнообразны и до конца не выяснены. Некоторые из этих соединений являются отходами жизнедеятельности, токсичными для производящих их организмов, другие служат средством внутри- и межвидовых взаимодействий. Вспомним хотя бы, что многие растения привлекают насекомых-опылителей запахом нектара. Но после окончания цветения некоторые из них начинают выделять вещества, отпугивающие и опылителей и насекомых-вредителей. Действие ЛОВ растений бывает направлено не только против микроорганизмов и насекомых, но также против растений иных видов. Американские ботаники отмечали, например, что в горах Калифорнии в зарослях жестколистных кустарников — чаппарала практически не встречаются травы. Эти кустарники окружает голая зона шириной около 8 метров с низкорослыми редкими травянистыми растениями, и только за ней начинаются нормальные пастбища. Оказалось, что такое зональное распределение растительности определяют выделяемые листвою ку-

старников летучие химические ингибиторы, которые препятствуют прорастанию семян травы.

Огромную роль летучие органические вещества играют в жизни насекомых, в особенности общественных. Выделяемые ими соединения — феромоны — служат для обмена информацией между особями одного вида: половые феромоны обеспечивают надежность поиска особой противоположного пола, феромоны тревоги вызывают бегство или коллективное нападение на врага, а агрегационные — скопление большого числа насекомых, например вредителей леса. В настоящее время установлено, что феромоны имеют большое значение в жизни млекопитающих, пресмыкающихся и рыб.

Менее исследован вопрос о химической природе и масштабах выделения ЛОВ биотой и их дальнейшей судьбе в земной атмосфере. Сейчас едва ли возможно хотя бы приблизительно оценить величину общей эмиссии летучих органических веществ, выделяемых животными и растительными организмами в целом, однако для отдельных биогенных источников такие попытки уже предпринимались. Подавляющее количество биомассы всех форм жизни на Земле и наибольшая величина ее годовой продукции приходится на долю зеленых растений, произрастающих на суше. Второй по значимости резервуар живого вещества планеты составляют почвенные микроорганизмы. Значительно более скромная доля в общей величине биомассы принадлежит животным. В соответствии с этим можно ожидать, что наибольшее количество ЛОВ поступает в земную атмосферу от автоτροφной растительности, а наименьшее — от животных.

#### ИСТОЧНИКИ ОРГАНИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ АТМОСФЕРЫ

**Высшие растения.** Выделение летучих органических соединений происходит на протяжении всей жизни высших растений, начиная с самых первых стадий развития. Так, в последние годы было показано, что уже при набухании семян интенсивно выделяются спирты, формальдегид, ацетальдегид и некоторые другие вещества. По-видимому, они препятствуют разрушению семян в почве, так как обладают сильным антимикробным действием. Летучие вещества выделяются различными частями растений, в том числе и корневой системой, но наибольшие количества ЛОВ поступают, конечно, через листву в ходе дыхательного обмена с атмосферой.

<sup>1</sup> Менделеев Д. И. Основы химии, т. 1. М.—Л., 1947, с. 172.

<sup>2</sup> Токин Б. П. Вероятная роль фитонцидов в природе.— Природа, 1946, № 11, с. 29; Токин Б. П. Целебные яды растений. Л., 1980.

Первые определения количеств органических соединений, выделяемых растениями, были сделаны еще в 1928 г. В. И. Ниловым, который разработал так называемый метод «мокрого сжигания», основанный на улавливании органических веществ серной кислотой и окислении до  $\text{CO}_2$ . Он установил, что единичный экземпляр древесного можжевельника может выделить в атмосферу в жаркий летний день до 30 г летучего масла, состоящего в основном из терпеновых углеводов.

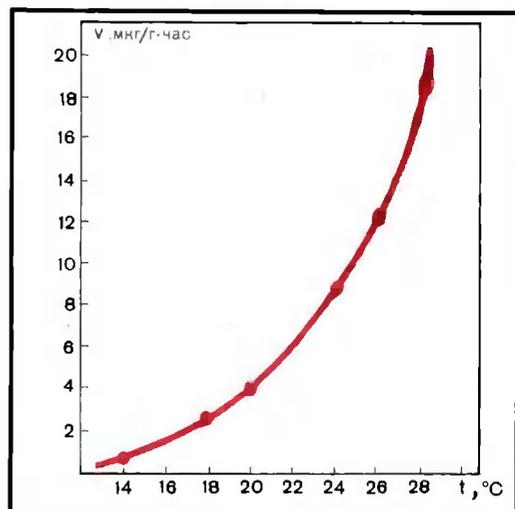
Метод «мокрого сжигания» в различных его модификациях разные исследователи применяли для определения концентрации ЛОВ в атмосфере лесов (табл. 1). Однако полученные в последние годы с помощью газовой хроматографии данные о содержании органических соединений в воздухе лесов средних широт Северного полушария оказались значительно ниже прежних. Так, сделанные нами летом 1981 г. анализы воздуха в различных районах Европейской части СССР показали, что концентрации эфирных масел в атмосфере хвойных лесов, как правило, не превышают всего лишь  $0,02 \text{ мг/м}^3$ . Примерно такие же концентрации обнаружили американские исследователи в сосновых лесах в районе Скалистых гор и в восточных районах США. На наш взгляд, «мокрое сжигание» приводит к завышению результатов и связано это с тем, что помимо ЛОВ в воздухе лесов содержится некоторое количество другого органического материала (пыльца, споры, микроскопические водоросли и т. п.), который также частично или полностью окисляется серноокислым раствором бихромата.

**Таблица 1**  
Концентрация эфирных масел в воздухе под пологом леса

Тип леса	Концентрация масла, $\text{мг/м}^3$	Автор, год
Сосняк старый	0,2—1,3	Е. С. Бурксер и др. 1940
Сосняк молодой	1,1—5,1	
Сосново-лиственный лес с преобладанием (80%) сосны	1,5	Е. С. Лахно, Н. В. Козлов 1967
Сосняк без подлеска	0,9—2,9	И. В. Берншвили 1967
Сосняк с подлеском из сосны	1,9—3,5	
Сосняк жердяковый	3,0—6,0	
Эвкалиптовая роща	1,6—2,7	

К сожалению, почти нет данных о концентрации ЛОВ в воздухе высокопродуктивных вечнозеленых экваториальных лесов Южной Америки и Африки. Единственное известное нам исследование (Д. Шизли и соавторы, 1971) показало, что под пологом джунглей бассейна Амазонки суммарные концентрации органических соединений во время влажного сезона очень велики и превышают (без учета метана)  $1,5 \text{ мг/м}^3$ .

Если данные о концентрациях ЛОВ в атмосфере лесов сильно расходятся, то



Зависимость скорости выделения (v) терпенов хвоей сосны обыкновенной от температуры воздуха (t). Данные получены авторами летом 1981 г.

определение различными методами скорости выделения органических соединений листвой дает довольно близкие результаты (табл. 2). Такого рода информация позволяет оценить масштабы эмиссии ЛОВ различными типами растительности. Так, по расчетам М. Н. Артемьевой (1964) 1 га хвойного леса выделяет в атмосферу около 4 кг, а листовного — около 2 кг органических соединений в сутки. В. В. Протопопов с соавторами (1974) считают, что в среднем за вегетационный период кедровник выделяет 450—500 кг ЛОВ, сосняк 400—450 кг и березняк 200—220 кг с гектара. Эти данные получены лишь для немногих типов лесов и поэтому они не могут быть использованы для вычисления продукции ЛОВ лесами в глобальных масштабах.

Попытаемся оценить общее количество ЛОВ, выделяемых растительностью в

Таблица 2

Скорость выделения ЛОВ различными видами растительности в пересчете на углерод

Вид растительности	Скорость выделения		Автор, год
	мг/г · ч	мг/м <sup>2</sup> · ч*	
Орех грецкий	5,9—5,1	1,2—1,0	З. И. Брянцева 1951
Сосна крымская	3,9—3,5	0,8—0,7	
Сосна Монтезумы	8,2	1,6	М. Н. Артемьева 1962
Сосна крымская	6,4	1,3	
Кедр гималайский	5,0	1,0	
Кипарис вечнозеленый	5,8	1,2	
Сантолина седая	9,2	1,8	
Хвойный лес	8,9	1,8	П. Циммерман 1978
Дубовый лес	24,7	4,9	
Пальма карликовая	—	4,1	
Сосна обыкновенная	16,6	3,3	В. А. Исидоров 1981
Сосна кедровая	12,8	2,6	
Лиственница сибирская	3,5	0,7	

\* Приведено к величине площади листовой поверхности, исходя из предположения, что 200 г сырой листвы эквивалентны 1 м<sup>2</sup>.

земную атмосферу, опираясь на величины скорости продукции, приведенные в табл. 2. Примем скорость выделения органических соединений с 1 м<sup>2</sup> поверхности листвы равной 1 мг/ч в расчете на углерод. При 12-часовом световом дне, средней продолжительности вегетационного периода 200 дней в году и суммарной поверхности листвы 644 млн км<sup>2</sup> (Д. Уиттейкер и Г. Лайкенс, 1975) мы получим величину глобальной скорости около 1,55 млрд т/год. В наших расчетах в качестве исходной принята скорость выделения, характерная для листвы древесных растений средних широт Северного полушария. Между тем можно ожидать, что скорость эмиссии ЛОВ в тропических лесах, занимающих 42% лесной площади планеты и дающих около 60% годовой продукции фитомассы, будет значительно выше. Поэтому полученную нами глобальную скорость 1,55 млрд т/год надо рассматривать как нижнюю границу реальной величины поступления фитогенных ЛОВ в атмосферу Земли. Уточнить ее помогут данные о масштабах эмиссии растительностью различных биоклиматических областей и о скоростях продукции ЛОВ растениями-эдификаторами, определяющими строение различных растительных сообществ.

**Микроорганизмы.** Роль микроорганизмов в разложении органического материала и, тем самым, в круговороте соединений углерода в природе хорошо из-

вестна. Жизнедеятельность микроорганизмов, обитающих в почве и водоемах, сопровождается выделением не только продуктов полного окисления (воды и углекислоты), но также и летучих органических соединений.

Биомасса микроорганизмов в почве очень велика, хотя и колеблется в широких интервалах. Например, исследования в Приокско-Террасном заповеднике показали, что суммарная биомасса микроорганизмов в 15-сантиметровом слое почвы на площади 1 га в лесах достигает 20—30 т. В окультуренных почвах вес сырой биомассы падает до 10 т/га и ниже. Биомасса почвенных грибов и бактерий в течение теплого времени года обновляется 10—20 раз. При такой колоссальной скорости продукции в 15-сантиметровом слое естественных почв за год будет синтезироваться биомасса микроорганизмов порядка 200—300 т/год · га<sup>3</sup>. Принимая во внимание эти сведения, можно ожидать, что суммарная продукция ЛОВ почвенными бактериями и грибами должна быть весьма значительной. Между тем вклад микроорганизмов в органическую составляющую атмосферы изучен слабо. О масштабах их дея-

<sup>3</sup> По данным Базилевич Н. И. и соавторов, средняя величина годовой продукции фитомассы растениями вечнозеленых тропических лесов составляет всего 29,2 т/год (Природа, 1971, № 5, с. 46).

тельности можно судить по данным о выделении метана, большей частью образующегося при анаэробном разложении органического вещества.

Образование метана связано главным образом с деятельностью группы анаэробных бактерий, обитающих в донных отложениях морей и пресноводных водоемах, в болотах и топях, в затопляемых участках почвы. В этих анаэробных условиях метанообразующие бактерии являются конечными организмами в трофической цепи микробов, гидролизующих целлюлозу и превращающих сахара в различные органические соединения. Некоторые из них, такие как ацетаты и метанол, а также образующиеся параллельно двуокись углерода и водород, служат прекрасными субстратами для метановых бактерий.

Продукция метана была тщательно изучена для различных типов почв рисовых полей. Так, средняя скорость выделенного метана на рисовых полях Японии составляет  $80 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}$ . Значительная часть почв, занятых под рисом, находится в районах с более жарким климатом, поэтому в масштабах планеты средняя скорость продукции метана на них равна  $206 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}$ . При общей площади рисовых полей  $1,35 \text{ млн км}^2$  (данные ФАО на 1971 г.) это соответствует выделению в атмосферу за год  $280 \text{ млн т}$  метана.

Болота большей частью расположены в менее теплых климатических зонах, поэтому скорость выделенного метана на них колеблется в пределах  $50\text{—}100 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}$ , а общая продукция — от  $130$  до  $260 \text{ млн т/год}$ . Почвы суши под травянистой растительностью, сельскохозяйственными угодьями и кустарниками выделяют в среднем всего лишь  $0,44 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}$ . Общее количество метана, поступающего в атмосферу из всех перечисленных источников, а также из пресноводных озер, морей и океанов, составляет  $428\text{—}605 \text{ млн т} \cdot \text{год}$ <sup>4</sup>.

Метанообразующие бактерии составляют всего лишь небольшую часть мира микроорганизмов, поэтому их участие в формировании органической составляющей атмосферы не ограничивается, очевидно, выделением одного метана. Нет даже оснований полагать, что другие ЛОВ продуцируются в меньших количествах, чем метан, но о масштабах этой продукции пока можно только строить догадки.

**Животный мир.** Как мы уже говори-

ли, в соответствии с долей животных в общей массе живого вещества планеты, их вклад в выделение ЛОВ должен быть гораздо меньшим в сравнении с растениями и микробами. Единственное исключение из этого правила касается выделения метана. Дело в том, что этот углеводород образуется в процессе кишечной ферментации растительной пищи. Строго говоря, выделение его нельзя полностью отнести на счет животных, так как метан образуется благодаря деятельности некоторых видов микроорганизмов, обитающих в пищеварительном тракте. (Подобный симбиоз характерен и для ряда насекомых, способных переваривать целлюлозу.) Г. Хатчинсон установил, что для крупного рогатого скота скорость продукции в среднем составляет  $200 \text{ г}$  метана за сутки, для лошадей —  $106 \text{ г/сут}$ , а для овец и коз —  $15 \text{ г/сут}$ . Данные о столь большой продукции метана позволили американскому биологу Р. Вольфу высказать шутовое предположение о том, что если на Земле действительно когда-то водились огнедышащие драконы, то, скорее всего, они были травоядными жвачными животными. Правда, добавляет Вольф, «...современная биохимия не может дать ответа на вопрос о механизме воспаления выдыхаемого драконом метана»<sup>5</sup>. Все поголовье перечисленных домашних животных в 1970 г. дало  $101 \text{ млн т}$  метана. Эта цифра — только нижний предел продукции; если учесть поступление его от других домашних и диких травоядных животных, то она увеличится до  $220 \text{ млн т/год}$ , а предельная скорость выделенного метана из всех биогенных источников возрастет при этом до  $825 \text{ млн т/год}$ .

**Антропогенные источники.** Масштабы антропогенной эмиссии ЛОВ в целом еще не определены, однако известно, что наиболее значительная ее часть приходится на углеводороды нефти, широко используемые в качестве топлива и сырья во многих отраслях промышленности. Скорость поступления углеводородов в атмосферу оценивается величиной порядка  $88 \text{ млн т/год}$ . Таким образом, антропогенная эмиссия ЛОВ значительно ниже биогенной. Сопоставление цифр, характеризующих мощность этих двух источников, может ввести в заблуждение относительно их важности в формировании среды обитания человека, если не принять во внимание, что выделение антропогенных компонентов происходит главным образом в круп-

<sup>4</sup> Ehhalt D. H.— Tellus, 1974, v. 26, № 1, p. 58.

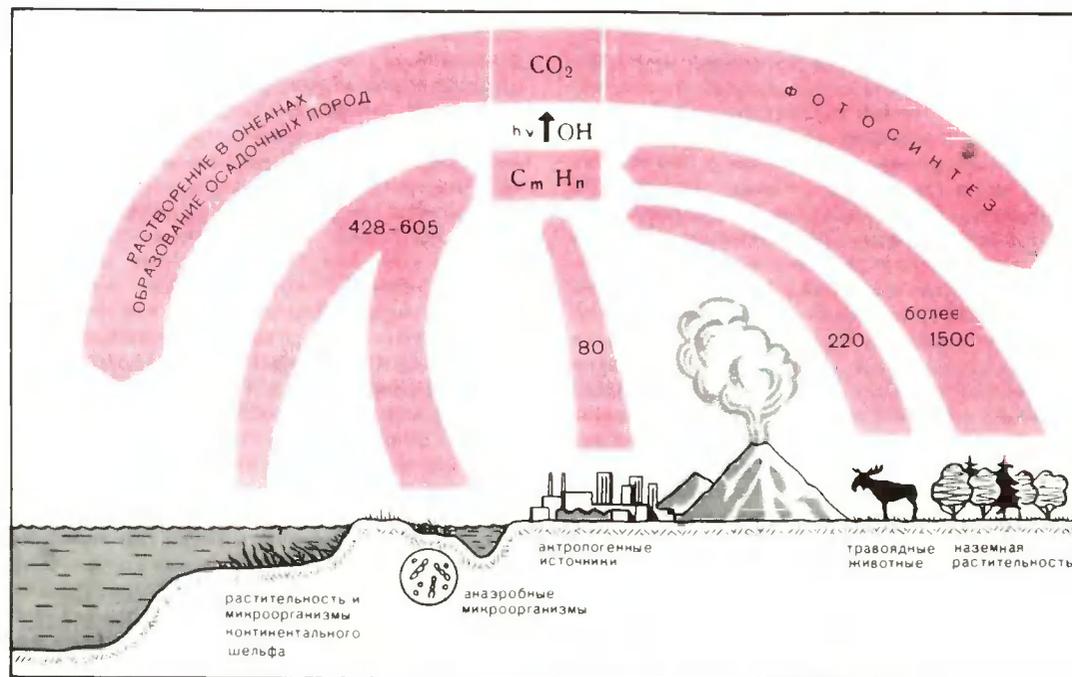
<sup>5</sup> Wolfe R. S.— Adv. Microb. Physiol., 1971, v. 6, № 1, p. 107.

ных городах, занимающих ничтожную часть поверхности Земли. Относительно небольшая по величине антропогенная эмиссия ЛОВ оказывает, тем не менее, очень существенное влияние на химические процессы в атмосфере городов и примыкающих к ним территорий.

Основной источник органических соединений, поступающих в атмосферу современных городов, — автомобильный транспорт. На его долю приходится до 60% выбросов углеводородов в США и около 50% в западноевропейских странах. Вто-

## СОСТАВ ОРГАНИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ АТМОСФЕРЫ

Низкие концентрации отдельных органических соединений в атмосфере, идентификация которых сопряжена с большими трудностями, до недавнего времени не позволяли составить представление о природе летучих органических компонентов воздуха. С конца 50-х годов положение изменилось благодаря применению газовой хроматографии, позволяющей разделять и анализировать сложные смеси соединений,



Атмосферный цикл углерода в составе летучих органических соединений (потоки в  $10^6$  т/год).

рой по мощности источник — промышленные предприятия, в особенности нефтехимические. И, наконец, важную роль в загрязнении атмосферы городов играет их коммунальное хозяйство. Этот источник составляет ЛОВ с вентиляционными выбросами из жилых помещений и шахт мусоропроводов, при сжигании топлива в мелких котельных и при уничтожении отходов. Непрерывная урбанизация и все более широкое использование в быту и строительстве различных продуктов химического производства увеличивает вклад коммунального хозяйства в выделение летучих органических соединений в атмосферу городов.

присутствующих в атмосфере в очень малых концентрациях. Надежность идентификации значительно возрастает, если в качестве детектирующего устройства в газовом хроматографе используется масс-спектрометр (метод хромато-масс-спектрометрии)<sup>6</sup>.

Новая техника анализа позволила установить, что состав ЛОВ весьма сложен и разнообразен. В настоящее время выявлены уже сотни органических соединений, выделяемых в атмосферу живыми организмами, но число обследованных видов пока

<sup>6</sup> Подробнее об этом методе см.: Исидоров В. А., Зенкевич И. Г. Хромато-масс-спектрометрическое определение следов органических веществ в атмосфере. Л., 1982.

невелико. Установлено, что некоторые вещества встречаются одновременно в составе ЛОВ многих видов.

К числу таких соединений относится **этилен** ( $C_2H_4$ ). Этот углеводород обладает высокой физиологической активностью: он ингибирует действие гормонов растений (ауксинов), тем самым замедляя рост, ускоряя созревание и опадение плодов и листьев. Он обнаружен в выделениях и древесно-кустарниковых, и травянистых растений, принадлежащих к семействам розоцветных, ивовых, березовых, ореховых, пасленовых, губоцветных, злаковых и др. Этилен продуцируется также некоторыми видами микроорганизмов — почвенными грибами и бактериями.

В выделениях высших растений часто встречается **изопрен** ( $C_5H_8$ ). Еще недавно изопрен не обнаруживался ни в растительных, ни в животных тканях, но уже в 1960 г. Г. А. Санадзе и Г. М. Долидзе нашли его среди ЛОВ ивы и тополя. Позднее Р. Расмуссен установил, что более чем 70 видов растений, характерных для лесов США (среди них буковые, ивовые, миртовые, платановые, бамбуковые, некоторые из сосновых и др.), выделяют на свету изопрен с большой скоростью. Интересно, что изопрен продуцируется не только растениями, но и некоторыми животными. В частности, он является одним из главных органических соединений в составе воздуха, выдыхаемого человеком.

Напомним, что количественное изучение органических компонентов атмосферы началось еще в 30-х годах с определения концентрации эфирных масел в воздухе хвойных лесов. А главные компоненты легколетучей фракции эфирных масел — это **терпены** ( $C_{10}H_{16}$ ). Терпеновые углеводороды в природе выделяются не только хвойными деревьями, но и некоторыми грибами (например, рода *Sclerotium*) и мхами-печеночниками, а также цветковыми однодольными и двудольными растениями, принадлежащими к различным порядкам и семействам (померанцевые, розоцветные, губоцветные, многие зонтичные и др.).

Однако для выделений лиственных растений более характерно присутствие легких углеводородов и их производных, в особенности кислородсодержащих. Среди последних найдено большое число спиртов, эфиров и карбонильных соединений. Реже встречаются галогенсодержащие вещества, такие как хлороформ (листва грецкого ореха), хлористый и иодистый метил.

Общее число летучих соединений, об-

наруженных в ЛОВ растений, очень велико, и этот список постоянно пополняется. Особенно интенсивно в настоящее время изучаются летучие метаболиты микроорганизмов. Интерес к ЛОВ микроорганизмов проявляется в связи с разработкой методов быстрой идентификации болезнетворных микробов, основанной как раз на определении состава выделяемых ими в атмосферу органических соединений. Среди них найдены не только углеводороды и их кислородные производные, но и многие серу- и азотсодержащие вещества.

Широкий ассортимент органических соединений поступает в атмосферу из антропогенных источников. Он включает, прежде всего, углеводородные компоненты моторных топлив, в состав которых входит несколько сотен соединений. С выхлопными газами автотранспорта выделяются также продукты неполного сгорания бензина (альдегиды, кетоны и непредельные углеводороды) или термического превращения его компонентов (бензпирен и другие канцерогенные полиядерные ароматические углеводороды).

Различные органические соединения выбрасываются в атмосферу промышленными предприятиями, в особенности химического и нефтехимического профиля. В выбросах этих предприятий часто присутствуют сотни веществ — летучие компоненты исходного сырья, промежуточные и конечные продукты синтеза и отходы производства. Как мы уже отмечали, физические размеры эмиссии органических соединений из антропогенных источников относительно невелики, однако глубокую тревогу вселяет присутствие среди них большого числа новых токсичных соединений, механизмы утилизации и обезвреживания которых в биосфере отсутствуют.

## СТОКИ ОРГАНИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ АТМОСФЕРЫ

Приведенные выше расчеты и оценки показывают, что ежегодно в атмосферу Земли из различных биогенных источников в составе органических соединений поступает не менее 2,2 млрд т углерода. Это всего в 2 раза меньше, чем его количество, выделяемое в виде CO и CO<sub>2</sub> из антропогенных источников при сжигании всех видов топлива, и примерно в 30 раз больше, чем выделяется (главным образом в воздушный бассейн городов) в составе органических загрязнителей. Какова же дальнейшая судьба этих колоссальных количеств биогенных компонентов в земной

атмосфере? Каковы механизмы процессов удаления, «стоков» их из атмосферы?

Стоки могут быть разделены на 3 большие группы: физические, биологические и химические.

**Физические стоки.** Под физическими стоками понимают вымывание примесей из атмосферы осадками, поглощение их поверхностью водоемов, сорбцию почвой, а также аэрозольми с последующей седиментацией. Из этих путей удаления органических компонентов из атмосферы количественной оценке поддается пока только лишь растворение в гидросфере.

Рассматривая тропосферу и гидросферу Земли как единую гетерогенную систему воздух — вода, мы воспользуемся для характеристики возможности накопления в атмосфере летучих органических веществ понятием «буферного коэффициента» гетерогенных систем:

$$B = \frac{K}{K+r}, \quad (1)$$

где  $K$  — коэффициент распределения, равный отношению концентраций ( $C$ ) вещества в жидкой и газовой фазах:  $K = C_{ж}/C_{г}$ , а  $r$  — отношение объемов ( $V$ ) газовой и жидкой фаз:  $r = V_{г}/V_{ж}$ . Коэффициент  $B$  определяет долю введенного в гетерогенную систему вещества  $q$ , оставшуюся в газовой фазе системы после установления равновесия с жидкостью:

$$q = 1 - B = \frac{r}{K+r}. \quad (2)$$

Выделяемые живыми организмами водорастворимые ЛОВ концентрируются в самых нижних слоях атмосферы, так что за величину  $r$  в формулах 1 и 2 можно принять отношение объемов тропосферы и гидросферы Земли, равное 5. Численные значения коэффициентов распределения органических веществ колеблются в весьма широких пределах<sup>7</sup>, но для простейших кислородных и азотистых соединений (спиртов, карбоновых кислот, альдегидов, кетон, аминов) очень велики — не менее нескольких сотен. Таким образом, буферные коэффициенты системы тропосфера — гидросфера относительно этих веществ оказываются очень близкими к единице, а это означает невозможность накопления в атмосфере выделяемых биомассой Земли кислородных и азотистых соединений. Для

углеводородов, имеющих низкие значения коэффициентов распределения ( $\ll 10$ ), параметр  $B$  значительно ниже (порядка 0,2—0,4), а остающаяся доля углеводородных выделений гораздо больше, и их концентрация, соответственно, выше. Этим объясняется, что органическая составляющая земной атмосферы представлена в основном углеводородами. Продукты же их фотохимического окисления, имеющие гораздо большие величины  $K$  в системе вода — воздух, поглощаются поверхностью Мирового океана и вымываются из тропосферы осадками.

**Биологические стоки.** Главную роль в биологических процессах разложения органических компонентов атмосферы играют микроорганизмы. Еще в 1944 г. Н. Г. Холодный показал, что выделяемые цветками и лиственной растений летучие органические вещества отлично усваиваются прямо из атмосферы различными микроорганизмами. При этом фитогенные соединения могут служить единственным источником углерода, необходимого им для роста. Значительно позднее американские исследователи установили, что эпифитные микроорганизмы (бактерии и грибы), живущие на поверхности листвы тропических растений, поглощают фитогенные ЛОВ. Изучаемая ими микрофлора усваивала даже углеводороды из разбавленных выхлопных газов автомобиля.

Усваивать летучие органические вещества непосредственно из воздуха могут и высшие растения. В настоящее время установлено, что листва поглощает и включает в биохимические процессы углеводороды и многие их производные.

Почвенные микробы ассимилируют главным образом вещества, сорбируемые гумусом. Интересно отметить, что, анализируя в 1946 г. цифры, характеризующие биомассу почвенных грибов и бактерий, И. В. Тюрин считал их невероятными и абсурдными. Он считал, что поступающего в почву листового опада и массы отмирающих корней недостаточно для поддержания жизни того количества микроорганизмов, которое получалось при подсчете их биомассы. Однако он не учел, что дополнительным источником углерода могут быть корневые выделения, существование которых также было открыто Н. Г. Холодным. На наш взгляд, необходимо принимать во внимание и воздушный путь питания, как еще одно звено, связывающее высшие растения с почвенными микроорганизмами.

К сожалению, какие-либо количественные данные о мощности биологических

<sup>7</sup> См.: Витенберг А. Г., Иоффе Б. В. Газовая экстракция в хроматографическом анализе. Парофазный анализ и родственные методы. Л., 1982.



шает антропогенную эмиссию этого газа за счет сжигания всех видов топлива. В дальнейшем, также при участии радикалов гидроксила, происходит окисление CO до углекислого газа.

Окисление органических соединений в атмосфере сопровождается выделением тепловой энергии. Если исходить из предположения, что ежегодно окисляется до углекислого газа и воды как минимум 800 млн т метана, то легко подсчитать выделяющуюся при этом суммарную величину теплоты. Она равна  $9,6 \cdot 10^{18}$  кал. Полное окисление всего изопрена, эмиссия которого в атмосфере оценивается в 396 млн т/год (П. Циммерман и соавторы, 1978), привело бы к выделению  $4,2 \cdot 10^{18}$  кал. Эта энергия превосходит суммарную энергию грозových разрядов, составляющую  $1,5 \cdot 10^{18}$  кал/год (А. Хемфри, 1940). Таким образом, биогенные органические соединения являются термодинамически активными компонентами атмосферы, отчасти определяющими ее тепловой режим.

Этим кратким очерком мы хотели привлечь внимание исследователей разных специальностей к молодой отрасли органической химии и химии атмосферы, в дальнейшем развитии которой заинтересованы не только специалисты по охране внешней среды, но и биологи, метеорологи, экологи и гигиенисты.

Современная экспериментальная техника позволяет анализировать сложнейшие смеси ничтожных количеств органических соединений, и эта техника дает возможность быстро накапливать сведения о выделении в атмосферу органических веществ живой природой и их дальнейшей судьбе. Систематизация и обобщение таких данных позволит выявить многие, пока еще неизвестные, взаимосвязи между живыми организмами, понять смысл и назначение происходящих в них биохимических процессов. Не меньшую важность имеет изучение органических компонентов атмосферы для углубления знаний об атмосферных явлениях и их роли в жизни человека. Совершенно необходимым представляется детальное изучение превращений органических веществ в атмосферном воздухе и для прогнозов дальнейшей эволюции состава земной атмосферы, которая может иметь огромное значение для существования всего человечества.

## ПРИРОДА

### АММИАК И АЗОТИСТАЯ КИСЛОТА ИЗ ВОЗДУХА

Круг изменения азотистых веществ в хозяйстве природы такой: растения воспринимают азотно-кислые и аммиачные соли из почвы и строят из них органические соединения, которые образуют пищу животных. В системе животного азотистые вещества превращаются в протеины, чтобы образовать ткань, а часть азота выделяется в виде мочевины и возвращается в почву; там соединения эти разлагаются и опять переходят в азотно-кислые соли и аммиак действием бактерий. Потеря азота в этом круге огромна на разных ступенях, особенно же, когда жидкости стекают по сточным трубам, азот частью освобождается, как таковой, и уходит в атмосферу. Электрический разряд в атмосфере и известные бактерии могут зафиксировать часть атмосферного азота, но эти источники снабжения совсем недостаточны и необходимо искать других. Эксплуатируемых в настоящее время источников азота, например залежей гуано и чилийской селитры, может хватить не более как на 20—40 лет. Серноокислый аммоний теперь производится в большом количестве, но все еще очень недостаточном. Атмосфера содержит около 250 000 миллиардов пудов азота и над каждой десятиной земли находится около 2 000 000 пудов азота, который можно утилизировать. Систематическое производство аммиака из воздуха до сих пор не казалось много подающим надежд делом. Известно, что магний поглощает атмосферный азот, образуя азотистый магний, который при разложении паром дает аммиак; алюминий, вероятно, годился бы для этой же цели. Азот удерживается также карбидами щелочных земель, образуя нитролим, который представляет из себя смесь углерода и цианалида кальция. Этот нитролим утилизировался как удобрение почвы или же превращался в другие химические продукты. Много атмосферного азота непосредственно окисляется с помощью электрического разряда.

## Этология: от «для чего!» к «почему!»

**В. В. Иваницкий**



Владимир Викторович Иваницкий, кандидат биологических наук, работает на кафедре зоологии и сравнительной анатомии позвоночных животных биологического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Область научных интересов: поведение и экология птиц.

Подавляющее большинство видов животных имеют близких родственников. Исключений, в число которых входит и человек, не так уж много. В классе млекопитающих насчитывается 123 семейства, из них лишь 18 монотипичны, т. е. включают в себя всего один вид. Среди 199 семейств птиц монотипичны всего 20. Значительно чаще таксоны — семейства и роды — объединяют большое число видов, в том или ином отношении похожих друг на друга. Так, род африканских мартышек включает 27 видов, род серых полевок — 45 видов, а род настоящих ткачиков — 47 видов! На Земле обитают 12 видов обезьян макак, 15 видов воробьев и более 70 видов плодовых мушек дрозофил.

Часто в одном и том же месте можно одновременно встретить несколько близких видов. Совершив экскурсию по весеннему подмосковному лесу, мы услышим и нежную, переливающуюся серебром трель пеночки-веснички, и более энергичную, быструю песню зеленой пеночки, и однообразное теньканье пеночки-теньковки, и своеобразный голос пеночки-трещотки. На вечерних зорях на просеках и полянах поют певчие и черные дрозды, раздаются трели дроздов-белобровиков и трещание потревоженных дроздов-рябинников. В глухих лесных уремах слышится негромкое пение дрозда-дерябы.

Такие ситуации, когда несколько близких видов обитают в одном месте, стали традиционной сферой приложения усилий биологов. Основной вопрос, который их интересует, — в какой мере эволюция животных и структура их сообществ определяются взаимоотношениями между близкими видами? Разумеется, что прежде всего необходимость ответа диктуется насущными потребностями современной теории эволюции и экологии. Вместе с тем можно надеяться, что анализ отношений между ныне живущими видами поможет пролить свет на скрытые во мгле тысячелетий перипетии таких же отношений между вымершими организмами, и в том числе между нашими отдаленными предками.

### АССОЦИАЦИИ РОДСТВЕННИКОВ

Обратимся к нашим более низкоорганизованным собратьям по отряду приматов — африканским мартышкам. Эти длиннохвостые, подвижные и шумные существа составляют неотъемлемую часть населения дождевого тропического леса. В некоторых районах Габона и Камеруна за короткую экскурсию можно встретить 4 — 5 видов мартышек. Они живут небольшими группами и в поисках корма перемещаются с дерева на дерево, придерживаясь строго определенного участка. Члены одной группы

не выходят за пределы своей территории, ибо там начинаются владения другой, соседней группы этого же вида. Таким образом, участки групп одного вида как бы пространственно изолированы друг от друга.

Участки же, принадлежащие группам разных видов, не только свободно перекрываются, но часто полностью совпадают. Американские приматологи Д. Гартленд и П. Стренсейкер, изучавшие поведение мартишек в джунглях экваториальных лесов Камеруна, обнаружили у своих подопечных отчетливую склонность к объединению групп разных видов. Особенно стремились к взаимному общению большая белоногая и краснобокая мартишки. В лесах соседнего Габона, где работал французский исследователь Ф. Готье, регулярно отмечались смешанные компании белоногих и голуболицых мартишек. Ассоциации близких видов мартишек долговременны и существуют не один год. При этом каждая обезьяна в своей повседневной жизни общается не только со своими сородичами, но и с особями близкого вида. В результате смешанная группа, постоянно распадаясь при кормежке, неизменно вновь восстанавливается в том же составе. В такой смешанной группе может быть до пяти видов мартишек, при этом каждая отчетливо различает своих сородичей и предпочитает непосредственно общаться только с ними. Интересно, что каждая мартишка, явно стремясь приблизиться к особям другого вида, тем не менее не склонна к каким бы то ни было фамильярностям. Собственно социальные контакты между особями разных видов — агрессивные, сексуальные, игровые полностью отсутствуют, а гибриды между видами — большая редкость.

Длительные и стабильные межвидовые ассоциации — отнюдь не привилегия приматов. Приоритет в описании и изучении этих сложных социальных объединений заслуженно принадлежит орнитологам. Особенно больших успехов они добились в последние годы. Благодаря тщательным наблюдениям за птичками, несущими на лапках цветные пластиковые кольца, удалось обнаружить необыкновенно интересные вещи. Давайте же мысленно перенесемся в Западное полушарие и вместе с американскими орнитологами А. Манн-Чарлзом и Д. Терборгом последуем в глубь тропического леса на побережье Перу.

Здесь, как и во всех лесах Южной Америки, живет много видов мелких пятнистых птичек — муравьеловок. Внешне они напоминают наших славков и пеночек, но более ярко окрашены. Муравьеловки живут

парами, хотя вместе с родителями часто подолгу держатся уже вполне самостоятельные отпрыски. Каждая такая семья занимает определенный участок леса и рьяно защищает его от посягательств конспецифических особей. Вместе с тем территории муравьеловок разных видов не только широко перекрываются, но часто полностью совпадают. Нередко на одной территории живет по десятку семей близких видов. При этом особи, оказавшиеся в этой своеобразной «коммунальной квартире», явно предпочитают общество друг друга одиночному существованию. Это и приводит к образованию смешанной стайки. Интересно, что каждый член этой ассоциации с большим рвением охраняет границы своих владений и, следовательно, территориальные рубежи ассоциации в целом. Держась большую часть дня одной стайкой, они патрулируют границы общей территории всей компанией. Если же в это время к рубежу с другой стороны приближается соседняя смешанная стайка, то возникает нечто вроде коллективного пограничного конфликта, который распадается как бы на несколько «дуэлей» — в каждой из них участвуют конспецифические особи, принадлежащие к соперничающим смешанным группам.

Так же, как и у мартишек, межвидовые ассоциации у птиц образуются на основе территориальной общности особей. Каждая птица склонна присоединяться к птицам других, в том числе и близких, видов только в пределах собственной территории. Она следует за стайкой лишь до того момента, пока не приблизится к границе своего участка, где оставляет своих попутчиков и поворачивает восвояси. Разумеется, если территории особей разных видов полностью совпадают, то для их общения друг с другом не возникает никаких препятствий и весь день они могут проводить в приятной компании друг с другом. На ночь смешанные ассоциации распадаются, птички разлетаются по укромным уголкам. Утром они вновь находят друг друга и, объединившись в стайку, направляются по своему обычному маршруту на кормежку.

Оставим теперь птиц и попытаемся заглянуть в мир, напоенный солнечным светом и теплом, населенный удивительными животными самых причудливых форм и расцветок. Это подводный мир коралловых рифов, волшебное очарование которого оказывает неизгладимое впечатление на всякого, кто имел возможность соприкоснуться с ним.

«Причудливейший мир, несколько не уступающий тем, какие живописуют авторы

фантастических романов, изображая марсианскую живность», — так излагает свои впечатления от экскурсии по коралловому рифу Д. Даррелл и далее пишет: «Интересно было отметить параллели с наземной жизнью. Разноцветные рыбки порхали в лесу горгонарий, словно птицы, а ниже черно-белые помацентры ходили среди акропор, подобно зебровым стадам... в густой тени рыскали по-тигриному оранжево-черные рыбы, с легкостью газелей или антилоп проносились стаи стройных оранжево-коричневых рыбок». Не правда ли — паразитическое зрелище! Пожалуй, именно стайки неисчислимых в своем разнообразии рыб, порхающих, парящих, снующих в кристально чистой, зеленоватой воде, и создают все неповторимое своеобразие этого мира.

Многие рыбки коралловых рифов ведут территориальный образ жизни. Количество владельцев территории у разных видов неодинаково. Иногда это один самец, иногда — супружеская чета. Многим видам свойственна полигиния — при одном самце живет несколько самок. Наконец, у некоторых скаровых рыб на одной территории живет целая группа самцов и самок, которая рьяно защищает свою территорию от посягательств незваных гостей. Хотя территории коралловых рыб обычно очень малы и их площадь не превышает нескольких квадратных метров, тем не менее далеко не всем желающим удается занять пригодный для безбедного существования участок. Пространство рифа, наиболее заманчивое для поселения, ограничено и сплошь занято более удачливыми соперниками. Однако оно не теряет своей привлекательности и притягивает к себе неудачников, которые собираются в смешанные стайки. Каждая такая стайка, включающая иногда до двух десятков разных видов, придерживается постоянного участка, площадью до четверти гектара, и перемещается по нему в поисках пропитания, подвергаясь постоянным преследованиям со стороны счастливых, имеющих собственные территории. Вечером стайка отправляется на ночевку в более глубокие места и там распадается, поскольку каждая рыбка устраивается на ночь самостоятельно. Утром они вновь возвращаются на мелководье и, собравшись в стайку, вновь начинают свой пестрый хоровод. Таким образом, смешанные стайки коралловых рыбок, так оживляющие своим присутствием тропические рифы, чаще всего состоят из парий, которым не удалось занять собственную территорию. Вместе с тем в эти стайки включаются и особи тех видов, которым вообще

не свойственно территориальное поведение.

Лишь в редких случаях удается наблюдать образование смешанных ассоциаций между особями разных видов рыб, каждая из которых удерживает свою территорию. Причина этого кроется в том, что территории очень малы и хозяин каждой из них атакует без разбора всех рыб, не позволяя им обосноваться в своих владениях. Однако бывают и исключения. Панамский ихтиолог Д. Робертсон, проводивший исследования на одном из коралловых рифов в Индийском океане, обнаружил, что самцы небольшой рыбки — стегастеса — занимают свои участки только в пределах более обширных территорий двух близких рыб-хирургов. Получается, что каждая территория находится в одновременном владении одного-двух стегастесов и хирурга, причем значительно более крупные хирурги почти никогда не нападают на своих сожителей, тогда как всякую другую рыбку, заплывшую на эту «коммунальную» территорию, один из хозяев немедленно атакует.

Подведем некоторые итоги. Межвидовые ассоциации рыб, птиц и млекопитающих возникают прежде всего благодаря общности территорий или участков обитания сосуществующих видов. Это, так сказать, пассивное, экологическое объединение, в основе которого лежит потребность близких видов в сходных местах обитания. Социальная консолидация — чисто поведенческий, этологический феномен, она зиждется на склонности особи данного вида к активному, тесному сближению с особями другого вида и следованию за ними. При этом, однако, потребность оставаться в пределах своего обжитого и хорошо знакомого участка часто преобладает, поэтому такой «домосед» сопровождает собой других видов лишь на своем участке.

## АГРЕССИЯ И СОСУЩЕСТВОВАНИЕ

Далеко не всегда отношения между родственными видами столь безоблачны, как это изображено в предыдущей главе. Значительно чаще они открыто враждуют друг с другом. Межвидовую агрессивность обнаружили даже у членистоногих. Некоторым видам крабов, креветок, пауков и муравьев, так же как и большинству позвоночных, свойственно территориальное поведение. При этом агрессивность хозяина территории часто направлена не только на своих сородичей по виду, но и на близкие виды. Американский энтомолог Л. Джонсон изучал живущие рядом виды пчел — тригон —

и установил, что каждая тригона, собирающая нектар с цветка, без какой-либо вражды относится только к своим непосредственным родственницам, т. е. пчелам из своей семьи — всех чужих пчел, независимо от их видовой принадлежности, тригона немедленно изгоняет.

Интересно, что внутри- и межвидовые отношения построены по-разному. Семья пчел живет в убежище, где находится святая святых — гнездо. С цветов, расположенных вблизи гнезда, естественно, чаще собирают нектар члены этой семьи, а чтобы предупредить, что данный участок занят, они оставляют запаховые следы и метки. Чем дальше цветок от гнезда семьи, тем чаще на нем «пасутся» чужие пчелы. Здесь-то и разыгрывается конфликт между конспецифическими особями, исход которого всецело определяется тем, в каком месте он происходит. В центре территории неизменно верх одерживают ее хозяева, на стыках семейных участков все решает «право первого»: тригона, прилетевшая на цветок первой, не потерпит на нем конкурентов. Это право, однако, не распространяется на межвидовые отношения. Территории разных видов свободно перекрываются, а в основе отношений особой лежит жестокая иерархия, т. е. каждый вид может безнаказанно третировать виды, занимающие в этой иерархии низкие ранги, но никогда не осмелится напасть на тех, кто стоит на высших ступенях иерархической лестницы. Таким образом, межвидовые отношения пчел строятся по принципу доминирования — подчинения со строгим соблюдением субординации.

У птиц с жесткой территориальностью также вырабатывается строгая межвидовая иерархия. Особенности внутривидового социального поведения у таких птиц определяют ранг вида в иерархических отношениях с конкурентами. Например, в сообществе черношейной каменки и каменки-пешанки, а также серого и чернолоблого сорокопутов верхнюю ступень иерархической лестницы занимают черношейная каменка и серый сорокопуд. Их территории велики по размерам, почти полностью изолированы в пространстве друг от друга и разделены четкими границами, которые хозяева территорий постоянно патрулируют. Подчиненные виды — каменка-пешанка и чернолобый сорокопуд — занимают небольшие территории, которые к тому же широко перекрываются и не имеют четких пограничных рубежей.

Ну, а если все взаимодействующие виды имеют жесткую территориальность,

подобную той, которую наблюдал у каменок автор этих строк? Тогда доминантом становится тот вид, у которого внутривидовые пограничные конфликты случаются чаще и продлжаются дольше. Складывается впечатление, что доминируют виды с наиболее «неуживчивым» характером. Об этом, в частности, говорит их отношение к некоторым неприятным событиям — например появлению человека вблизи гнезда с птенцами. Пустынные каменки к этому совершенно равнодушны и продолжают спокойно кормить свое потомство. Обыкновенная каменка ведет себя беспокойно: родители в смятении мечутся из стороны в сторону, издавая громкие крики, словно пытаются привлечь к себе внимание. Каменка-плясунья в такой ситуации впадает в полное неистовство. Мало того, что общий уровень подвижности у нее больше, чем у двух предыдущих видов и она чаще их кричит, эта каменка еще взлетает вертикально вверх, причем в верхней точке траектории как бы замирает в воздухе, трепеща крыльями и не переставая громко кричать.

Принцип доминирования в определенной степени универсален. Суть его в том, что из двух взаимодействующих видов один всегда более агрессивен и становится доминантом; тогда как другой вид вынужден довольствоваться подчиненным положением. Нетрудно видеть, что контакты между особями разных видов неравноправны — их всегда навязывает доминант. Приблизившись к своему подчиненному, он решает: задать ли ему трепку прямо сейчас или отложить это мероприятие на другое время? Раздумывать он может долго, а подчиненный, естественно, не ждет, а летит, плывет или идет по своим делам. Доминант же, не желая потерять его из виду, следует за ним по пятам. Такая компания со всеми основаниями может быть названа межвидовой ассоциацией, речь о которых шла выше. Здесь же нам важно подчеркнуть, что взаимоотношения разных видов в смешанных группах также зачастую строятся не на равных. Это уже давно подметили орнитологи, работавшие со смешанными стайками птиц. Наш соотечественник А. А. Герке еще в середине 30-х годов обратил внимание, что ядром смешанных синичьих стайек в европейских лесах чаще всего становятся маленькие гайчки, которые как магнитом притягивают к себе своих более крупных сородичей — больших синиц. В то же время ни одна гайчка не приближается к большой синице, ибо характер у последней отнюдь не ангельский и оби-

деть младшего ей ничего не стоит. На Дальнем Востоке, по наблюдениям японского исследователя Т. Накамуры, «магнитом», притягивающим больших синиц, часто являются москвовки — маленькие синички. Интересно, что ради возможности составить компанию москвовкам, большие синицы, которые обычно кормятся в нижних ярусах леса, поднимаются в самые верхние части крон, где собирают пропитание москвовки.

Иногда отношения между видами складываются не по правилу соподчинения, а как бы на равных. Так, в смешанной колонии индийских и черногрудых воробьев объем владений каждого самца очень невелик, зато столь ограниченная сфера влияния находится под исключительным контролем ее владельца, не допускающего сюда других воробьев, к какому бы виду они ни принадлежали.

Что же заставляет животных реагировать на, казалось бы, совершенно ненужных им особей других видов? Почему большие синицы, бросив свои дела, поднимаются в самые верхние этажи леса только для того, чтобы проводить залетевших на их территорию москвовок? Зачем каменка-плясунья — небольшая серенькая птичка, населяющая пустыни Средней Азии, тратит уйму времени и энергии, гоняя по своей территории пустынных и обыкновенных каменок — ведь прогнать их все равно не удается?

А что если межвидовые реакции — всего лишь проявление любопытства или, как говорят этологи, исследовательского поведения? В самом деле, всякому живому существу свойственно проявлять интерес к неизвестным объектам. Представим себе, что нам показали вдруг нечто вроде человека, но не человека — как бы мы вели себя в такой ситуации? Очевидно, после некоторых колебаний мы все же решились бы подойти поближе и рассмотреть его более подробно. Примерно так же ведут себя и животные, однако часто даже близкие виды проявляют свою любознательность по-разному.

Познакомимся поближе с небольшими грызунами, широко распространенными в тайге на севере Европы, — красными и красно-серыми полевками, которых длительное время изучала Т. В. Кошкина. Оба вида часто живут бок о бок, занимая одни и те же территории, но корм у них разный. Красная полевка питается в основном семенами, красно-серая — зелеными частями растений. В межвидовых конфликтах неизменно доминирует красная полев-

ка, которая к тому же более агрессивна даже к особям своего вида. Самки красной полевки занимают и активно охраняют четко очерченные и пространственно изолированные территории. Красно-серая полевка не столь воинственна: обычно несколько самок, норы которых расположены неподалеку друг от друга, совместно используют прилегающее пространство.

Л. Р. Мичурина изучала этих полевок в экспериментальных условиях. Она помещала зверьков в новую для них клетку, в которой находился корм. Красные полевки прежде всего начинали тщательно обследовать свою новую обитель и приступали к трапезе только после завершения осмотра. Красно-серые полевки, напротив, оказались удивительно равнодушны к новой обстановке и сразу же принимались за еду.

Выходит, красная полевка стала доминантом отнюдь не случайно. Она более агрессивна и подвижна и в большей мере склонна обследовать незнакомые объекты. В результате именно она становится инициатором межвидовых контактов, первой проявляет агрессивность и в итоге выигрывает ею же навязанный конфликт. Все говорит о том, что у красной полевки нервные процессы значительно более подвижны, а психика более гибкая, чем у психически инертной конкурентки. Это и понятно. Основной корм красных полевок — семена — высококалориен, но распределен неравномерно, т. е. его надо постоянно искать. Не в этом ли причина подвижности и «исследовательских способностей» красных полевок? Зелени, которой кормится красно-серая полевка, везде достаточно, и, чтобы утолить голод, нет необходимости уходить далеко от норы.

## ЭВОЛЮЦИЯ ЛЮБОПЫТСТВА?

Обратимся теперь к приматам. Наши ближайшие родственники среди разнообразных представителей этого отряда — шимпанзе и горилла — наземные обезьяны тропической Африки. Благодаря исследованиям Д. Гудолл и Дж. Шаллера, их многочисленных коллег и последователей, мы сейчас достаточно много знаем о поведении этих замечательных животных. Попробуем из всей массы фактов, касающихся их экологии и поведения, отобрать те, которые можно рассматривать как некоторые предпосылки межвидовых отношений.

Горилла — весьма внушительное животное. Самцы весят иногда более 200 кг, естественно, что такому созданию требуется немалое количество пищи.

К счастью, с ней нет никаких проблем: эти гиганты, питаясь почти исключительно зелеными частями растений — листьями и молодыми побегами, легко находят их в тропическом лесу. Нет необходимости совершать далекие прогулки в поисках пропитания, достаточно, сидя на одном месте, срывать вокруг себя побеги крапивы, сельдерея и бамбука. После того как в радиусе вытянутой руки пища будет съедена, можно пересесть и на другое место. Листья и побеги — пища хотя и обильная, но малокалорийная, а для насыщения гориллы весом в полтора—два центнера ее требуется немало. Поэтому очень много времени уходит просто на еду, чем гориллы и занимаются большую часть дня. Судя по наблюдениям Шаллера, это очень спокойные, малоподвижные и даже флегматичные животные с уравновешенной психикой. Их реакция на незнакомые объекты, например на консервную банку из блестящей жести, показывает, что в окружающем мире, кроме съедобных листьев, их мало что интересует.

Гудолл, которая провела много лет рядом с шимпанзе, рисует совершенно иную картину. Основу рациона этих обезьян составляют разнообразные плоды. Недостатка в них шимпанзе не испытывают, однако плоды разных растений поспевают то здесь, то там на протяжении всего тропического года, поэтому обезьяны постоянно разыскивают плодоносящие деревья и ведут весьма подвижный образ жизни. Вообще, по сравнению с гориллами, шимпанзе склонны к более разнообразной пище: они поедают птичьи яйца и птенцов, выуживают специально изготовленными палочками термитов из их неприступных убежищ, не чуждаются и чисто вегетарианской пищи — тех же листьев и побегов. Особенное внимание ученых привлекли охотничьи способности шимпанзе, к которым мы еще вернемся. Получается, что основную долю своего времени шимпанзе отдают поискам высококалорийной, но неравномерно распределенной пищи. Это в высшей степени эмоциональные, подвижные животные, активно осваивающие мир и открывающие его возможности. О них вполне можно сказать, что они «не делают культа из еды» — сфера их жизненных интересов, вероятно, шире.

Итак, среди современных человекообразных обезьян намечаются два пути эволюции. С одной стороны, это процесс все более глубокой специализации, которому следуют гориллы. Еще дальше продвинулись в этом направлении обитающие

в Индо-Малайзии орангутаны, которые ведут древесный образ жизни. Избрав однажды в качестве своего рациона вегетативные части растений, они обрекли себя на весьма монотонное существование — почти непрерывное поглощение и переваривание пищи. Такой стиль жизни отнюдь не способствовал развитию «любопытности». Шимпанзе шли по пути сохранения широких экологических возможностей, чему способствовали и особенности их питания. На этом пути меньше шансов попасть в эволюционный тупик и больше возможностей для дальнейшего прогресса в «интеллектуальной сфере».

Интересно, что в какой-то мере аналогичную дивергенцию мы наблюдаем и среди вымерших представителей семейства гоминид, т. е. людей. Речь идет о грацильных и массивных австралопитеках. Некоторые антропологи, желая подчеркнуть различия между ними, относят последнего к отдельному роду парантропов. Их вес составлял около 55 кг — они были в полтора раза крупнее грацильных австралопитеков. Судя по строению челюстей и зубов, парантропы питались растительной пищей. Возможно, что при передвижении они еще опирались на передние конечности, подобно шимпанзе. Грацильный австралопитек в полной мере был способен к прямохождению и передвигался так же, как и современный человек. Пищевые склонности австралопитеков были весьма широки, но основу рациона составляло, по-видимому, мясо животных, добываемых на охоте, которая была уже постоянным и сложноорганизованным видом деятельности. Чаще всего добычей австралопитеков были разные виды копытных животных — газели и антилопы, неисчислимы стада которых бродили в то время по африканской саванне. Вместе с тем австралопитеки добывали и приматов — мартышек, гверец и павианов. Учтем при этом, что, вообще говоря, самец павиана, вооруженный мощными клыками и по весу не уступающий австралопитеку, представлял собой весьма серьезного противника. Но самое удивительное в том, что среди ископаемых остатков охотничьей добычи грацильных австралопитеков обнаружены и кости ...парантропов — т. е. ближайших в ту пору родственников!

Нет сомнений в том, что австралопитеки и парантропы происходят от одного общего предка, но сколь различные стали они в ходе автономной эволюции! Вероятно, грацильный австралопитек стал доминировать над своим более крупным сородичем, диктуя ему свою волю, а впоследствии

низвел его до ранга обычной дичи. Вполне возможно, что своему успеху австралопитек обязан заинтересованному отношению к внешнему миру, а попросту говоря, — собственному любопытству.

### ЧЕЛОВЕК И ОБЕЗЬЯНЫ — ИСТОРИЯ ОТНОШЕНИЙ

Не следует думать, что грацильные австралопитеки были столь уж кровожадны, что все их время уходило на выслеживание своих более миролюбивых, растительноядных соседей. Тем не менее взаимоотношения между плейстоценовыми гоминидами, вероятно, были весьма напряжены. Издревле охота приматов друг на друга была довольно распространенным явлением. Остановимся вкратце на основных, известных к настоящему времени этапах развития этого рода деятельности, ибо она также может быть отнесена к сфере взаимоотношений между близкими видами.

По мнению антропологов, наш непосредственный предок — человек умелый, живший в Африке около двух миллионов лет назад, был весьма искусным охотником. Среди его добычи были и современные ему виды австралопитеков, в их числе крупный австралопитек Бойса. Не пренебрегал наш пращур и более мелкими приматами — мартышками и павианами. Необходимо подчеркнуть, что ни грацильным австралопитекам, ни человеку умелому не был свойствен каннибализм, поедание особей своего вида. Столь прискорбные наклонности появились у человека в более позднее время.

Около миллиона лет назад наступила эра питекантропа, или человека прямоходящего. Наиболее полно палеонтологическая летопись запечатлела его жизнь на крайнем юго-востоке Азиатского континента. Питекантроп охотился на диких свиней, антилоп, грызунов и мелких обезьян. Возможно, среди его охотничьих трофеев были и человекообразные обезьяны — орангутаны.

Английский исследователь Дж. Маккинон провел более двух лет в непроходимых джунглях Суматры и Калимантана, изучая биологию и поведение этих удивительных животных. Результаты наблюдений и анализ палеонтологических материалов позволили ему воссоздать гипотетическую картину злключения орангутанов, выпавших на их долю по вине человека.

Предки этих обезьян были весьма мощными животными: и по размерам и по весу они почти в полтора раза превосхо-

дили ныне живущих орангов, которых тоже никак нельзя назвать субтильными. Вес самцов достигает 180 кг! Поэтому жизнь на деревьях часто бывает для них обременительна — не всякое дерево выдержит такого гиганта. Это вынуждает самцов время от времени опускаться на землю, что и навело Маккинона на мысль, что еще более массивные предки орангутанов, подобно гориллам и шимпанзе, вели преимущественно наземный образ жизни. Жизнь на земле связана со многими опасностями. Джунгли Индо-Малайзии и поныне служат пристанищем большому числу опасных хищников. Тигры, леопарды, крупные удавы и крокодилы — вот далеко не полный перечень врагов, с которыми сталкивались жившие на земле обезьяны. Поэтому, как считает Маккинон, в то далекое время оранги жили группами во главе с крупными сильными самцами, которые и защищали своих сородичей от нападения хищников. Учитывая громадный вес оранга-самца, можно думать, что он обладал колоссальной физической силой. Имея столь внушительных защитников, группы орангутанов успешно противостояли хищникам до тех пор, пока в число последних не вошел человек. Появление и рост численности палеоантропов имели роковые последствия для орангутанов. Человек охотился на них ради мяса и уничтожал, как своих конкурентов. Вооруженный примитивными орудиями, он охотился на орангов более успешно, чем другие хищники. В одной из пещер палеонтологи обнаружили остатки 242 животных, убитых и съеденных людьми каменного века. Среди них было 47 диких свиней и 40 орангутанов, половину от всех остальных составляли более мелкие обезьяны. Со временем охотничий пресс на популяцию орангов стал превышать темпы их размножения. В результате на материке и на Яве, там где численность пещерных людей была большой, орангутаны вымерли. Возможно, на о-вах Суматра и Калимантан они в какой-то мере сумели приспособиться к преследованиям со стороны человека, перейдя к древесному образу жизни, что и привело к уменьшению их веса. Исчезла необходимость защиты от наземных хищников, и группы постепенно распались. Современные орангутаны — преимущественно одиночные существа.

Самое печальное состоит в том, что злключения орангутанов не кончились до сих пор. Во многих племенах даяков они и поныне считаются желанной добычей — мясо их употребляется в пищу. Точно так же горилл и шимпанзе до недавнего вре-

мени добывали некоторые африканские племена ради мяса.

Хищнические наклонности свойственны нашему ближайшему родственнику среди живущих на Земле существ — шимпанзе. Это открытие сделала Гудолл. Она обнаружила, что самцы шимпанзе успешно охотятся на мартышек, обезьян-гверец и молодых павианов. Между шимпанзе и павианами складываются своеобразные отношения, которые носят глубоко индивидуальный характер. Иными словами, для каждого павиана существует не просто шимпанзе — как особь другого вида, а вполне определенный, хорошо знакомый индивидуум, наделенный специфическими, только ему присущими особенностями поведения. И шимпанзе и павианы прекрасно узнают друг друга «в лицо». В местах, где для подкорма и привлечения обезьян регулярно раскладывались бананы, как правило, доминировали более настойчивые и агрессивные павианы. Атакуя шимпанзе, они заставляли тех отступать и получали неограниченный доступ к любимому кушанью. Вместе с тем павианы хорошо знали, что некоторых крупных самцов шимпанзе лучше не трогать, ибо они способны дать сокрушительный отпор, швыряя в разрушителей своего спокойствия довольно увесистые камни.

Молодые шимпанзе и павианы часто затевают совместные игры, причем здесь также возникают взаимные и сугубо индивидуальные привязанности. Тем не менее эти игры далеко не безопасны для молодых павианов. Увлечшись игрой, они могут удалиться от своей группы и попасть на глаза взрослых самцов шимпанзе, которые не преминут воспользоваться удобным случаем и постараются разнообразить свой рацион. Привлеченные криками несчастной жертвы, на место расправы немедленно являются взрослые павианы и, пытаясь отбить попавшего в беду сородича, бросаются в бой. Возникает необыкновенно шумная свалка, обезьяны истошно кричат и с остервенением кидаются друг на друга, однако до настоящей схватки и кровопролития дело никогда не доходит. Самое удивительное в том, что в ходе этого «побоища» павианы редко пускают в ход свои страшные клыки, которые сделали бы честь любому леопарду, и в конце концов отступают, оставив своего отпрыска на растерзание шимпанзе.

А как ведут себя современные человекообразные обезьяны при встрече с человеком? Тысячелетиями люди преследовали и истребляли этих животных и, следо-

вательно, не могли заслужить их доверия. Неудивительно, что, встретив человека, обезьяны пытаются немедленно скрыться в зарослях. Оттуда, прикрываясь ветвями и чувствуя себя в относительной безопасности, они подолгу наблюдают за нарушителем спокойствия. Шаллер подметил, что гориллы могут долго следить за встреченным человеком, однако игра в прятки продолжается лишь до тех пор, пока они не обнаружат слежку, и тогда гориллы немедленно и беззвучно исчезают. Исследователь затратил много времени, чтобы приучить этих лесных гигантов к своему присутствию, и в конце концов его терпение и настойчивость увенчались успехом. Целыми днями он бродил по лесу за группами горилл, наблюдая их жизнь и устраиваясь на ночлег там, где его застигала ночь. Нередко импровизированная постель располагалась всего в 15—20 метрах от безмятежно храпящих в своих гнездах обезьян. Утро начиналось с завтрака, который у Шаллера занимал всего несколько минут, а у его подопечных длился не менее двух часов.

При первой после некоторого перерыва встрече с исследователем вожаки даже хорошо знакомых ему групп иногда вели себя крайне возбужденно. Они ломали ветки кустарников, колотили себя в грудь руками и сопровождали эти «демонстрации» оглушительным ревом. Но гориллы ни разу не напали на Шаллера, и хотя он считает, что демонстрации в какой-то степени означают угрозу, их, по-видимому, с тем же основанием можно расценивать и как «приветствие». Разумеется, что внешне такое «приветствие» выглядит очень впечатляюще, так что самообладанию исследователя можно лишь позавидовать.

Гориллы по собственной инициативе никогда не нападают на человека и даже на удивление вяло защищаются. Не случайно обитающие по соседству с гориллами пигмеи — эти настоящие лесные жители, хорошо изучившие нрав обезьян, нисколько их не боятся. Напротив, негры-банту, лишь недавно проникшие в леса, считают горилл чуть ли не исчадием ада и испытывают панический страх перед ними. Надо сказать, что пигмеи всячески способствуют поддержанию таких представлений у своих соседей банту, сочиняя многочисленные леденящие душу истории об этих обезьянах.

Взаимоотношения Маккинона с орангутанами складывались более драматично. На него неоднократно нападали крупные самцы, причем всякий раз — на земле. Действия обезьян носили при этом столь

недвусмысленный характер, что исследователь был вынужден спастись бегством.

Для того чтобы установить контакты с шимпанзе, Гудолл потребовались поистине женские терпение и такт. Почти два года ушло у нее на то, чтобы приучить обезьян к своему присутствию. Вначале, завидев исследовательницу на расстоянии ближе полукилометра, они немедленно исчезали. При внезапном ее появлении самцы устраивали шумные спектакли: шерсть на плечах у них вставала дыбом, громко крича, они с силой раскачивали ветви деревьев, но ни разу не перешли к прямой атаке. После «демонстраций» обезьяны, к полному разочарованию Гудолл, бесшумно исчезали в непроницаемой зелени кустарников. Лишь спустя несколько лет барьер недоверия был сломлен и занавес, скрывавший за собой тайны жизни этих замечательных животных, начал постепенно приоткрываться.

К сожалению охотничьи наклонности шимпанзе послужили предпосылкой для некоторых неприятных инцидентов. Отмечены случаи нападения этих обезьян на маленьких детей африканцев. Однажды самец шимпанзе даже отнял ребенка у проходившей по лесной тропе женщины. Увы, но детей эти обезьяны (по крайней мере, в отдельных популяциях) расценивают как охотничью добычу. Вот что писал Гудолл: «Наше пребывание в Гомбе теперь осложнилось и по другой причине — из-за нашего сына. Чтобы избежать опасности, мы сажали его, когда он был совсем маленьким, в специальное сооружение, расположенное на территории лагеря. Это была хижина, покрытая сверху прочной металлической решеткой. Когда Рудольф, Хамфри или Эверед (клички самцов шимпанзе) со вздыбленной шерстью и плотно сжатыми губами подходили к ней и, заглядывая внутрь, начинали яростно трясти прутья, мы знали, что при случае обезьяны непременно схватили бы нашего сына... Шимпанзе Гомбе — Стрима, привыкшие к постоянному присутствию белокожей обезьяны и даже доверявшие ей, никак не связывали с ней появление белокожего детеныша. Для них это была лакомая добыча, а не мое дорогое дитя».

Итак, каждый вид реализует в отношении с близкими видами весь арсенал своих возможностей, который был накоплен в ходе эволюции. В ее основе лежит постепенное усугубление генетически закрепленных различий между изолирован-

ными популяциями. Именно благодаря дивергенции и возникает несходство социальной организации, скорости психических процессов, агрессивности, исследовательской активности.

В небольшой статье нет возможности даже вскользь коснуться многих проблем, стоящих перед биологами при изучении близких видов, межвидовой конкуренции, способов добычи ресурсов, пищевых связей. Эти проблемы относятся уже к области экологии и лежат несколько в стороне от интересующих нас эволюческих вопросов. Долгое время биологи пытались ответить на них, сводя все разнообразие поведенческих контактов между родственными видами к решению стоящих перед этими видами экологических проблем, т. е. к чисто утилитарным нуждам. Так, межвидовую агрессивность расценивали как средство уменьшения пищевой конкуренции — хозяин территории изгоняет с нее особей близких видов потому, что они поедают «его» корм. Межвидовые ассоциации трактовались как способ защиты от хищников, чем больше глаз осматривает окрестности — тем меньше опасность. Эти соображения с точки зрения здравого смысла весьма привлекательны, поэтому биологи, увлекшись экологическими объяснениями, постепенно отрешились от непосредственных причин межвидовых контактов, уповав на всемогущество естественного отбора, который, как обычно говорят, должен был сделать так, а не иначе. Стремясь ответить на чисто биологический вопрос «для чего?», биологи взвалили на плечи естественного отбора солидный груз «долговых обязательств», но при этом стали забывать о существовании общенаучного вопроса «почему?». Ответить на него — значит найти непосредственные причины, влияющие на поведение. Вполне возможно, что некогда они сформировались под действием отбора, однако теперь уже стали вполне самостоятельными. Их поиску мы и посвятили эту статью.

## Библиотека Академии наук СССР

...В каждом из научно-исследовательских институтов и, высших учебных заведений первой лабораторией является его библиотека.

И. Г. Петровский

**В. А. Филов,**  
доктор биологических наук,  
директор Библиотеки АН СССР

**К. В. Лютова,**  
кандидат биологических наук,  
заместитель директора  
по научной работе Библиотеки  
АН СССР

**Д. В. Лебедев,**  
старший научный сотрудник  
Ленинградского отделения  
Института истории  
естествознания и техники  
АН СССР

Ленинград

Короткое слово БАН хорошо известно ученым страны. Особенно близко и понятно оно научным работникам Ленинграда, где на Васильевском острове располагается здание Библиотеки АН СССР.

Наряду с Всесоюзным институтом научной и технической информации, Институтом научной информации по общественным наукам, Библиотекой по естественным наукам, а также Государственной публичной научно-технической библиотекой Сибирского отделения АН СССР (Новосибирск), БАН составляет ядро информационно-библиотечного обслуживания Академии наук. Каждое из указанных учреждений, за исключением ВИНТИ, включает в себя сеть специальных библиотек, общей их чертой является сочетание информационно-библиотечной деятельности с научно-исследовательской. Библиотеку АН СССР выделяет из этого ряда то, что она является крупнейшей многопрофильной библиотекой, первой государственной библиотекой России.

Датой основания Библиотеки считается 1714 г., когда по



Фасад здания, в котором с 1728 по 1925 г. помещалась Библиотека АН СССР.

распоряжению Петра I в Летний дворец, построенный в новой столице России, были привезены из Москвы книги Аптекарской канцелярии, а из Риги — книги герцога Голштинского. Известно, что уже в следующем году книги из нового собрания выдавались читателям. В том же 1714 г. началось создание первого русского музея — Кунсткамеры, и долгое время музей и Библиотека составляли единое целое. Как единое целое вошли они в основанную в 1725 г. Академию наук. К этому времени в Библиотеке насчитывалось уже около 12 тыс. книг и она являлась основной материальной базой для работы Академии. В 1728 г. книги были перевезены в новое помещение — существующее и поныне здание Кунсткамеры на Васильевском острове. В газете

«Санкт-Петербургские ведомости» сообщалось, что Библиотека будет открыта 2 раза в неделю и вход в нее «всякому свободен».

Книжные фонды Библиотеки постоянно пополнялись. Указом от 23 февраля 1783 г. всем типографиям России вменялось в обязанность доставлять в Академию наук по одному экземпляру каждой напечатанной книги, что обеспечивало, по крайней мере теоретически, полноту комплектования Библиотеки отечественными изданиями. С этого времени русский фонд начал быстро расти, хотя практическое осуществление указа проходило далеко не гладко.

Начало XIX в. ознаменовалось важным событием в истории Библиотеки — в соответствии с Уставом Академии наук 1803 г. она была отделена от Кунсткамеры и официально стала особым академическим учреждением, во главе которого

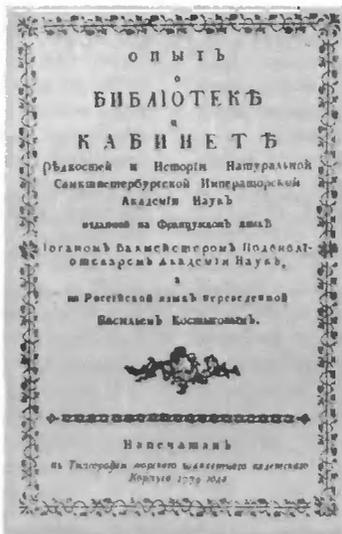
должен был стоять академик-библиотекарь.

В 1818 г. с основанием Азиатского музея ему была передана из Библиотеки литература по востоковедению. Для Ботанического музея, основанного в 1824 г., отбиралась литература по ботанике, а в 1831 г. было принято решение о комплектовании литературой Зоологического музея. Так было положено начало созданию крупнейшей в мире библиотечной сети Академии наук, целью которой явилось оптимальное сочетание централизованного руководства библиотечным делом и координации работы всех звеньев с наиболее полным и оперативным удовлетворением конкретных запросов специальных научных учреждений. Достигнутое при этом приближение книг к читателям-исследователям способствовало повышению эффективности их труда.

В XIX в. Библиотека Академии наук перестала быть единственной русской библиотечной общественной пользования. Возникли Публичная библиотека в Петербурге, Румянцевская — в Москве, публичные библиотеки губернских городов, университетов и академий. Все они в той или иной степени опирались в своей деятельности на опыт старейшей библиотеки. Библиотека Академии наук, главной задачей которой было по-прежнему обслуживание Академии, никогда не закрывала свои книжные богатства от «посторонних», а, наоборот, постепенно все шире открывала доступ к ним. Среди ее постоянных читателей были Н. Г. Чернышевский и Д. И. Писарев, а позднее А. И. и О. И. Ульяновы. В 1891 и 1894 гг. в ней работал В. И. Ленин, изучая литературу по политической экономии и статистике.

Способствуя развитию научных исследований, проводимых не только Академией наук, но и другими учреждениями страны, сама Библиотека с самого начала являлась научным учреждением, в котором разрабатывались прежде всего проблемы книговедения.

К 1917 г. Библиотека пришла с богатейшим уникальным книжным фондом, комплектовавшимся два столетия. Многие филиалы Библиотеки при



Титульный лист издания: Бакмейстер И. Опыт о библиотеках и кабинетах редностей... СПб, 1779.



Титульный лист раздела «Медицина» в «Камерном каталоге». СПб, 1742.

научных учреждениях обладали самыми богатыми собраниями книг по своей специальности. Эти собрания в значительной степени обеспечивали успешность исследований, проводив-

шихся соответствующими коллективами ученых. В Библиотеке возникла обширная коллекция революционных изданий, так называемая «Вольная печать» (Академия наук пользовалась правом бесцензурного получения литературы). Особенно активно эта коллекция пополнялась в начале XX в. Желая создать в России фонд партийной литературы, В. И. Ленин дал указание партийным организациям большевиков посылать в Библиотеку Академии наук по два экземпляра всех выходящих нелегальных изданий<sup>1</sup>.

К 1917 г. в деятельности Библиотеки накопилось немало трудностей. Ее дальнейшее развитие тормозила архаичная структура, совершенно не соответствовавшая достигнутому уровню библиотечной практики. Требовали радикального улучшения условия размещения фондов, их обработки и использования читателями. Необходимо было построить специальное здание, приспособленное для деятельности крупной универсальной библиотеки. Вопрос о строительстве нового здания был поставлен перед общим собранием Академии еще в 1901 г., но средства для проектирования были выделены только в 1909 г., а на строительство — только в декабре 1912 г. Сооружение нового здания на месте старого Гостиного двора было закончено в 1916 г., но оно было передано под военный госпиталь.

Великая Октябрьская социалистическая революция создала новые условия для развития культуры и науки в нашей стране. Известно, что В. И. Ленин особо интересовался состоянием библиотечного дела в стране. Уже на следующую ночь после взятия Зимнего дворца он сказал А. В. Луначарскому, назначенному народным комиссаром просвещения: «Постарайтесь обратить в первую очередь внимание на библиотеки»<sup>2</sup>. В ию-

<sup>1</sup> Бонч-Бруевич В. В. И. Ленин и Библиотека Академии наук. — Новый мир, 1946, № 8, с. 98.

<sup>2</sup> Луначарский А. В. Речь на торжественном заседании, посвященном 5-летию юбилею Госиздата. — Книга о книгах, 1924, № 5—6, с. 75.

не 1921 г. по распоряжению В. И. Ленина Библиотеке было передано специально для нее построенное в царское время здание. В 1925 г. в годовщину 200-летия Академии наук новое здание Библиотеки было открыто для посетителей. К этому времени значительно расширился и штат сотрудников. Библиотека активно включилась в строительство социалистической культуры.

Радикальный пересмотр структуры Библиотеки Академии наук и характера ее деятельности начался в 1929 г. Были созданы функциональные отделы в соответствии с основными процессами библиотечной работы — комплектования, обработки и каталогизации, хранения процессов библиотечной работы — комплектования, обработки и каталогизации, хранения фондов, обслуживания посетителей. Для работы с рукописными, старопечатными и редкими книгами и картографическими материалами были созданы специализированные отделы с особыми читальными залами при них. В дальнейшем структура Библиотеки видоизменялась, в нее вносились коррективы с учетом приобретенного опыта, но основа ее сохранялась.

В 30-е годы особое внимание было обращено на организацию справочно-библиографической и научно-библиографической работы.

Большой размах приняла издательская деятельность Библиотеки. Издавались библиографические указатели, посвященные Якутии, Таджикистану, Узбекистану, Киргизии, Каракалпакии и др. Много было сделано по текущему и ретроспективному учету печатной продукции АН СССР, опубликованы указатели работ по физиологии животных и человека в изданиях Академии, по математике, геологии. Большой интерес представляли образцовые в методическом отношении библиографические указатели, посвященные С. М. Кирову, А. П. Карпинскому, В. Л. Комарову.

Одной из важнейших задач было создание генерального каталога Библиотеки, в котором собирались сведения о всех фондах не только центральной библиотеки, но и всех филиалов, число которых в 1926 г. достигло 22. Одновременно шло их объединение в единую сеть.

В результате Библиотека АН СССР стала административным, организационным и методическим центром академических библиотек, а их персонал вошел в ее штат. Таким образом, Библиотека АН СССР явилась первой в стране централизованной библиотечной системой. Основные принципы, на которых функционирует эта система, вырабатывались уже давно, но заверенную форму они получили в 30-е годы, а именно: централизованное комплектование фондов; централизованная каталогизация литературы и создание сводных каталогов; организация тем самым единого книжного фонда; координация и кооперация научной и информационно-библиографической деятельности; единый штат сотрудников; единый читательский билет.

Сеть академических библиотек начала еще больше разрастаться с 1932 г., после организации первых филиалов и баз АН СССР, при которых, естественно, создавались и научные библиотеки. Их комплектованием в значительной степени занималась Библиотека АН СССР, осуществлявшая также и общее руководство.

В 1934 г. Президиум АН СССР и ряд академических учреждений физико-математического и естественнонаучного профиля были переведены в Москву. Вместе с ними были перевезены книги 11 специальных библиотек (180 тыс. томов). Для руководства специальными библиотеками московских академических учреждений в области физико-математических, естественных и технических наук было организовано Московское отделение Библиотеки. С 1938 по 1972 г. оно называлось Сектором сети специальных библиотек.

Героические страницы в историю Библиотеки были вписаны в годы Великой Отечественной войны. Она была переведена на военное положение, но продолжала работать даже в самые тяжелые месяцы блокады — без электричества и отопления. Библиотекари сделали все, что было в их силах, для спасения не только ценнейших собственных фондов (особенный героизм был проявлен при эвакуации книг Пулков-

ской обсерватории, оказавшейся на переднем крае обороны), но и ряда частных собраний.

Библиотека обслуживала воинские части и госпитали Ленинградского фронта, партийные организации, предприятия и учреждения Ленинграда, организовывала передвижки, ее сотрудники читали лекции и доклады, составляли библиографические указатели и справки.

В послевоенные годы начался новый этап в жизни Библиотеки. Необходимо было в кратчайший срок наладить нормальную деятельность, восстановив ее довоенный уровень, а затем и превзойти его, чтобы соответствовать новым, постоянно усложняющимся требованиям.

В течение 1953—1956 гг. впервые в истории Библиотеки была проведена полная инвентаризация ее фондов. Многие издания (редкие и особенно ценные книги) были выделены из основного фонда и переданы в соответствующие специализированные отделы. Инвентаризация способствовала обеспечению физической сохранности фондов. В 1953 г. был создан отдел гигиены книги, который следит за температурным режимом и влажностью воздуха в книгохранилищах, реставрирует поврежденные издания, лечит «больные» книги и рукописи.

В эти же годы организуется отдел литературы стран Азии и Африки, кабинет библиоковедения, фонд микрофильмов.

Большим событием в жизни Библиотеки явилось празднование в 1964 г. ее 250-летия. Указом Президиума Верховного Совета СССР за заслуги в области библиотечной работы и в связи с 250-летием со дня основания Библиотека была награждена орденом Трудового Красного Знамени.

Происходят изменения во всей системе академических библиотек. В 1956 г. в Новосибирске на базе библиотеки Западно-Сибирского филиала Академии наук создано Восточное отделение библиотеки (ВОбАН), в 1961 г. вошедшее в состав Государственной публичной научно-технической библиотеки Сибирского отделения Академии наук (ГПНТБ СО АН СССР).



Знамена. Миниатюра из Радзивиловской летописи конца XV в. (вверху).

Миниатюра из рукописи: «Книга, глаголемая Козьмы Индикоплова», XVII в. (внизу).

В 1972 г. Сектор сети специальных библиотек БАН в Москве был преобразован в Библиотеку по естественным наукам (БЕН АН СССР). На базе Фундаментальной библиотеки по общественным наукам создан Институт научной информации по общественным наукам (ИНИОН

АН СССР). Все это, безусловно, отразилось и на Библиотеке АН СССР. Она не только принимала самое активное участие в комплектовании фондов новых библиотек, оказывала им методическую помощь, но и уточняла свой профиль комплектования, совершенствовала свою «библиографическую политику», развивала и корректировала основные направления информационной и научной деятельности.

На 1 января 1981 г. книжные фонды Библиотеки АН СССР насчитывали свыше 15,6 млн печатных единиц; из них в Цент-

ральной библиотеке — 10,4, в библиотеках при ленинградских академических институтах — 5,2 млн. Кроме того, в БАН хранятся комплекты газет почти 20 тыс. названий газет, в том числе более 5 тыс. иностранных. БАН обладает самой полной в нашей стране коллекцией русских книг XVIII в. Собрание инкунабул — одно из крупнейших в стране — включает более 800 единиц хранения. Здесь же можно познакомиться с русскими нелегальными изданиями, вышедшими до Великой Октябрьской социалистической революции, а также с первыми и редкими изданиями произведений основоположников марксизма-ленинизма.

Специфической особенностью Библиотеки АН СССР является то, что она собирает все издания Академии наук со дня ее основания и хранит их на правах архивного экземпляра (Академическое собрание).

Картографический фонд БАН — один из старейших в Советском Союзе. Это богатейшее собрание отечественных и иностранных карт, атласов и других картографических материалов. В фонде представлены уникальная коллекция русских карт и атласов XVIII в. (в том числе гравированные карты и атласы времен Петра I), труды деятелей мировой картографической науки XVI—XIX вв., атласы, созданные в результате кругосветных плаваний русских моряков, специальные курсы и атласы (геологические, сельскохозяйственные, исторические, лингвистические и т. п.).

Фонд литературы стран Азии и Африки комплектуется научными изданиями на восточных языках, в основном по естественным и точным наукам (в отличие от библиотеки при Ленинградском отделении Института востоковедения АН СССР, где преобладает литература гуманитарного характера).

Научные исследования Библиотеки развиваются в четырех основных направлениях:

1. Библиотековедение и библиография; информатика.
2. Автоматизация информационных процессов.
3. История книги, книговедение.

#### 4. Научное описание и публикация рукописей.

Среди работ первого направления следует выделить участие Библиотеки в разработке единой советской библиотечно-библиографической классификации (ББК) и современных единых правил библиографического описания произведений печати. Выполнение этих задач существенно важно для развития библиотечного дела и библиографии, так как они обеспечивают унификацию основной документации в этих отраслях и тем самым создают необходимые предпосылки для широкого применения автоматизации.

К этому же направлению относятся исследования, посвященные истории и теории библиографии и библиотековедения, обобщению опыта коллектива Библиотеки.

Разрабатываемая в Библиотеке автоматизированная система информационно-библиотечного обслуживания (АС-БАН) должна значительно улучшить условия работы читателей: ускорить обработку получаемой литературы, обеспечить доступ к информационной базе, формируемой центрами всесоюзного значения — ВИНТИ, ИНИОН, ГПНТБ СССР и др., облегчить ретроспективный поиск информации, выдачу копий статей из иностранных журналов и т. д.

Для работы по истории книги в 1974 г. впервые в библиотечной практике был создан научно-исследовательский отдел истории книги. Перед отделом стоит задача — отразить в выпускаемой им серии «Книга в России» весь период от Киевской Руси до 1861 г.

Традиционным направлением научно-исследовательской работы БАН является научное описание и публикация рукописей.

С научно-исследовательской работой Библиотеки тесно связана и ее информационно-библиографическая издательская деятельность, результатом которой являются многочисленные отраслевые и тематические библиографические указатели, преимущественно по физико-математическим и естественным наукам. Продолжается составление ретроспективных

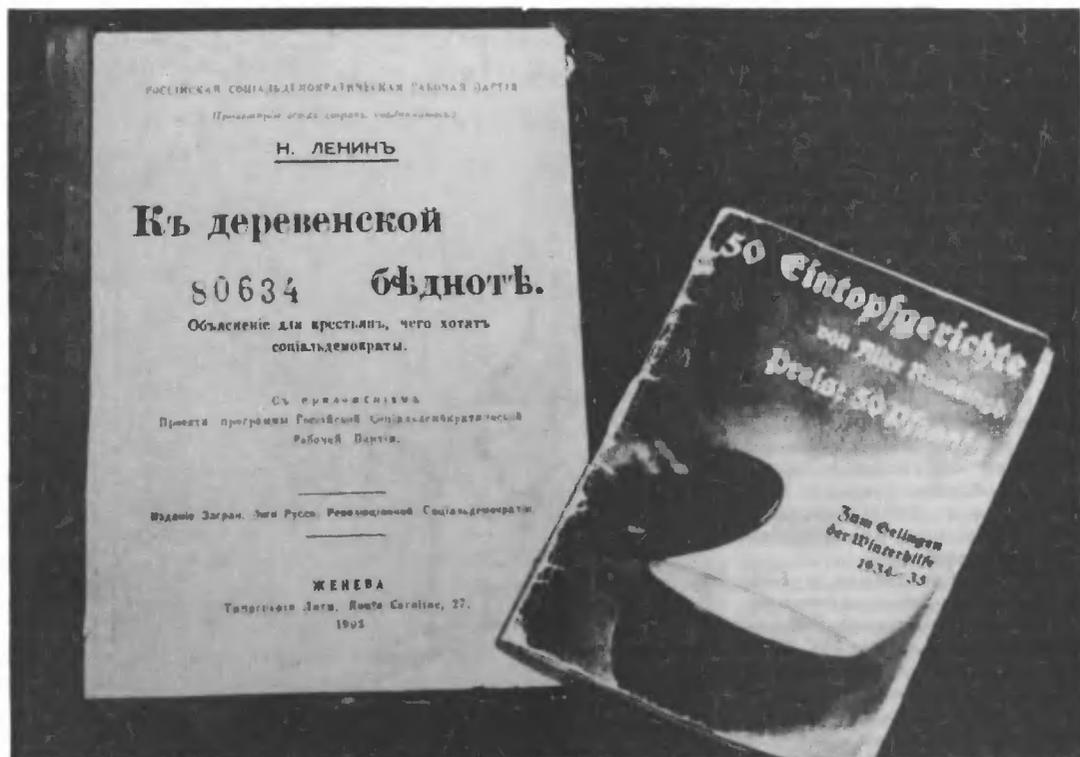


Миниатюра из Лицевого летописного свода второй половины XVI в.: установка часов на княжеском дворе в Москве.

указателей литературы по химии, математике и механике, изданной Академией наук со времени ее основания. Издано большое количество тематических указателей (по полупроводникам, термозлектричеству, высокомолекулярным соединениям, транспирации растений, агромелиорации песков, русскому фольклору и т. д.). Силами специальных библиотек подготовлены указатели трудов от-

дельных институтов (химии силикатов, русской литературы, этнографии и др.), указатель советской археологической литературы и др. Большое внимание уделяется библиографии библиографии. Изданы указатели библиографических пособий по математике и механике, физике, химии, биологии, монголоведению.

С 1956 г. регулярно публикуются библиографические ежегодники изданий Академии наук СССР — по существу, это отчеты о ее деятельности, облеченные в библиографическую форму. С 1961 г. выходят указа-



Редкие издания произведений В. И. Ленина: «К деревенской бедноте». Женева, 1903; подпольное немецкое издание работы «О государстве» под видом брошюры А. Росниг «Поваренные рецепты 50 блюд». Потсдам, 1935 г.

тели трудов и материалов научных конгрессов и совещаний, опубликованных за рубежом.

Продолжается публикация библиографических указателей, посвященных выдающимся деятелям отечественной науки, таким как А. М. Ляпунов, П. Н. Лебедев, И. В. Мушкетов, Е. Н. Павловский, А. С. Попов, Ф. Н. Чернышев и др. Библиотека Института русской литературы составила указатели, посвященные А. С. Пушкину, М. Горькому, А. Мицкевичу, М. Ю. Лермонтову, А. А. Блоку. Библиотека принимает участие в подготовке всех сводных каталогов, издаваемых в СССР.

Вызванный информационным взрывом споры о том, быть или не быть библиотекам вообще, давно утихли, и сейчас ни у кого не вызывает сомне-

ния, что никакие средства массовой информации, никакие новые материальные носители информации — ничто не в силах заменить книгу. А раз будет существовать книга, значит будут и библиотеки.

Какой станет Библиотека Академии наук завтра? Сохранит ли она свое значение в обслуживании научных исследований? И если да, то в каком направлении будет совершенствоваться информационно-библиотечное обслуживание читателей?

Быстрый рост книжных фондов заставляет постоянно изыскивать возможности для получения новых площадей, на которых могут быть размещены новые поступления. Дважды — в 1961 и 1978 гг. — библиотека надстраивала свои книгохранилища. Однако сейчас совершенно очевидно, что резерв площади в старом здании уже исчерпан, в лучшем случае его хватит на год. Поэтому важнейшей задачей на самое ближайшее будущее является строительство нового, оснащенного современным оборудованием

здания. Предполагается, что оно явится геометрическим центром Ленинградского Академгородка, создаваемого сейчас, но не вся Библиотека целиком переедет в новое здание — часть фондов и специализированных отделов останется в старом помещении, на Васильевском острове.

Информационно-библиотечная автоматизированная система (АС-БАН), являющаяся частью общегосударственной системы научно-технической информации (ГАСНТИ), должна много упростить, а следовательно, и ускорить обработку новой литературы путем распечатывания с помощью фотонаборного устройства данных с магнитных лент, которые будут поступать из Всесоюзной книжной палаты (для каталогизации отечественной литературы) и из ГПНТБ СССР — для иностранной.

В организации справочно-библиографического и информационного обслуживания ученых будут рационально сочетаться традиционные способы подготовки и выдачи информа-

ции с нетрадиционными, основанными на использовании ЭВМ. Одна из подсистем АС-БАН обеспечит доступ к информационной базе, формируемой на магнитных лентах и получаемой из центров всеобщего значения — ВНИТИ и ИНИОН. Автоматизированная ИПС БАН будет функционировать в разных режимах, в том числе для ретроспективного поиска информации, для составления тематических списков и выдачи читателям первоисточников или копий.

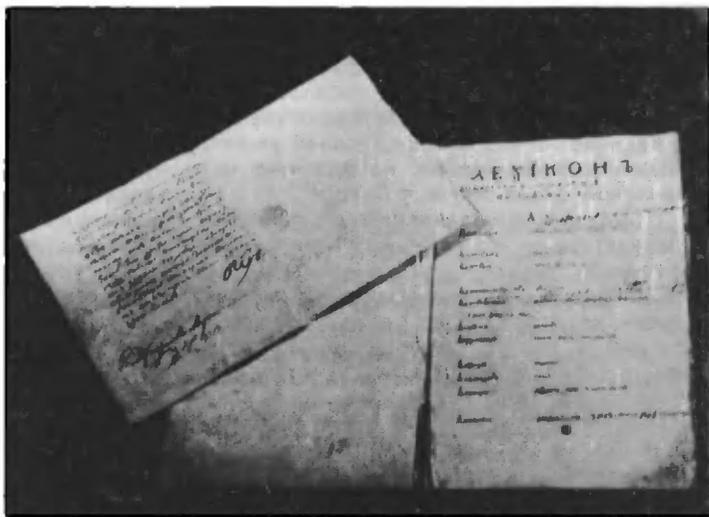
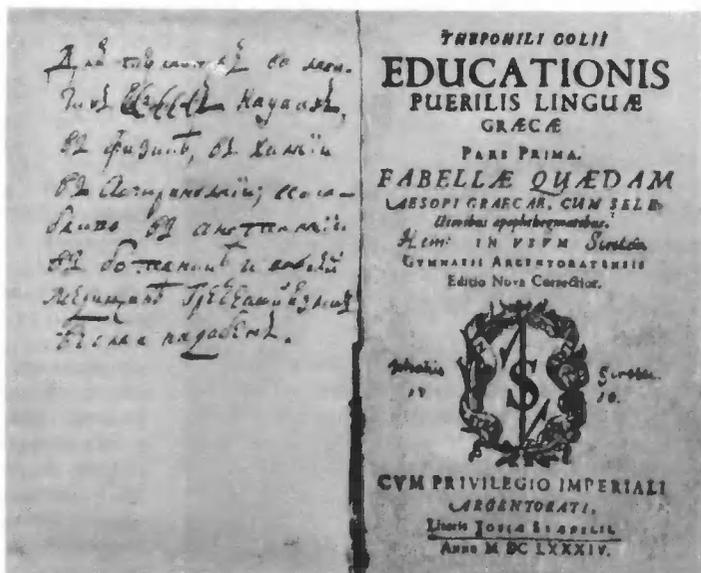
Непременным условием деятельности Библиотеки в будущем явится значительно более широкое, чем сейчас, использование множительной техники. Читатель должен получить возможность немедленного ксерокопирования любого интересующего его документа. Это позволит не только улучшить качество обслуживания, но и в значительной мере облегчить проблему свободных мест в читальных залах, будет способствовать сохранности книжных фондов.

Дальнейшее развитие и оснащение Библиотеки техническими средствами позволит читателям заказывать нужные им издания не выходя из дома, а библиографические описания требуемых документов, а может быть, и сами документы выводить на экраны своих телевизоров.

Большие изменения должны произойти в информационно-библиографической работе Библиотеки — наряду с изданием тематических и отраслевых указателей ретроспективного характера необходимо приступить к новым формам опережающей библиографической информации, составляемой в непосредственном контакте с учеными и по их прямому заказу.

Трудно заранее предсказать все те изменения, которые произойдут в деятельности Библиотеки. Ясно одно — усилия ее коллектива всегда будут направлены на улучшение обслуживания советской науки и на разработку вопросов, в исследовании которых Библиотека является научно-исследовательским институтом.

Важным условием совершенствования деятельности академических библиотек, в том числе БАН, является



Автограф М. В. Ломоносова на принадлежавшем ему «Учебнике греческого языка» Т. Голия [Страсбург, 1684]: «Для терминов во многих науках, в физике, в химии, в астрономии, особливо в анатомии, в ботанике и во всей медицине греческий язык весьма надобен».

Автографы Петра I. Подпись на письме к М. М. Ближнему от 5 марта 1717 г. о посылке из-под Ростова в Петербург букварей деревьев. Пометы на рукописи «Лексикон вокабулам новым по алфавиту».

ся достижение всесторонней и устойчивой координации с академическими информационными центрами. С этой целью Президиум АН СССР после детального рассмотрения вопроса о состоянии информационного обеспечения научных исследований<sup>3</sup> создал Объединенный информационно-библиотечный совет во главе с вице-президентом АН СССР академиком Ю. А. Овчинниковым.

<sup>3</sup> См.: Вестник АН СССР, 1981, № 5, с. 12.

## У истоков космической биологии

Академик **О. Г. Газенко**  
**А. А. Гюрджян**,  
 кандидат медицинских наук,  
 член Международной академии  
 астронавтики

«В истории научно-технических завоеваний человечества изучение космического пространства занимает особое место. Пожалуй, трудно найти такое открытие, которое имело бы столь глубокие научные и общественно-политические последствия и привело бы к таким перспективам для познания природных явлений, как открытие космической эры успешным запуском в Советском Союзе первого искусственного спутника Земли»<sup>1</sup> — писал Нурайр Мартиросович Сисакян.

Да, космонавтика — это новая область деятельности людей, своеобразный синтез науки и техники — оказала огромное влияние на все стороны нашей жизни, на наше мироощущение, на развитие человеческой цивилизации в целом.

Вместе с тем становление и развитие космонавтики — это не только величайшее достижение техники и физико-математических наук. Космонавтика, особенно в той ее части, которая связана с пилотируемыми полетами в космос, теснейшим образом связана с биологией и всем комплексом биологических дисциплин. Это прекрасно понимали пионеры космонавтики: К. Э. Циолковский, Ф. А. Цандер, С. П. Королев, М. А. Тихонравов, Ю. В. Кондратюк, в чьих трудах не только были заложены решения технических проблем, но и выдвинуты важные биологические задачи.

С самого начала космонавтика оказалась органически связанной с развитием космической биологии.

Был конец 50-х годов, заря космонавтики, ее первые, тогда еще робкие шаги. Эта юная область науки привлекала внимание зрелого ученого — академика Н. М. Сисакяна.

Крупный ученый-биохимик и организатор науки, общественный деятель меж-

дународного масштаба, он очень ясно и точно понял основные особенности и характер событий, происходивших в науке и технике того времени, значение для человека прорыва в космос, и уже 3 ноября 1957 г., т. е. всего через 30 дней после полета 1-го искусственного спутника Земли, состоялся эксперимент с собакой Лайкой на 2-м искусственном спутнике — первый длительный биологический эксперимент на орбитальном летательном аппарате. Это был результат проводившихся с начала 1956 г. систематических лабораторных исследований по разработке систем жизнеобеспечения применительно к условиям длительного (орбитального) полета, а также специальных методов исследования. Созданная аппаратура передавала на земные станции показатели сердечно-сосудистой системы, дыхания и двигательной активности животного с помощью радиотелеметрической системы.

Основной итог экспериментов с Лайкой — доказательство возможности существования высокоорганизованного животного в условиях продолжительного состояния невесомости при орбитальном полете. Кроме того, эксперимент продемонстрировал принципиальную правильность принятых методов и средств для обеспечения условий жизнедеятельности на борту спутника, практическую возможность получения с помощью радиотелеметрических средств необходимой информации о состоянии основных физиологических функций и здоровья животного организма, а также о гигиенических параметрах среды в кабине на всех этапах орбитального полета. Все это говорит о солидном методическом и теоретическом заделе, которым располагала советская биологическая наука.

Однако Н. М. Сисакян был убежден, что эти исследования не должны ограничиваться только задачей выполнения биологической пробы перед первым космическим полетом человека. Под его руко-

<sup>1</sup> Сисакян Н. М. Жизнь в космосе. — В сб.: Населенный космос. М., 1972, с. 229.

водством была разработана обширная программа биологических исследований на возвращаемых космических кораблях-спутниках, выполненная в 1960—1961 гг. на многочисленных живых организмах и биологических объектах, стоящих на разных линиях и уровнях филогенеза. Эти исследования не только открыли человеку путь в космос, но и заложили основы новой отрасли знания — космической биологии и медицины. К работе были привлечены лаборатории и ведущие специалисты в области авиационной медицины, физиологии человека и животных, генетики, микробиологии, ботаники, иммунологии, молекулярной биологии и других разделов биологических наук. В результате была разработана и осуществлена программа подготовки к полету человека в космос: отбор и подготовка кандидатов, разработка систем жизнеобеспечения и безопасности, медицинского контроля, возвращения, спасения и последующего изучения состояния здоровья. Всем этим руководил и непосредственно занимался Н. М. Сисакян.

В последующем, вместе с усложнением программы полета, выполнением космонавтами все более обширного круга функций по управлению космическим кораблем, исследованию ими космической среды, Земли, планет, а также проведению космонавтами большого числа биологических и медицинских экспериментов стали широко изучать психофизиологические возможности человека в космосе.

Тогда же, на заре космических исследований, Н. М. Сисакян разработал основы классификации проблем космической биологии, которой мы руководствуемся до настоящего времени. Они сводятся к следующим основным группам:

1. Действие на живые организмы экстремальных факторов космического пространства, возможности и особенности существования земных форм жизни в космосе (экзофизиология).

2. Влияние на организм человека и животных условий продолжительного полета в герметической кабине космического летательного аппарата (динамические факторы полета — ускорения, невесомость, вибрация, шум; факторы среды обитания в кабине — газовый состав, гигиенические параметры, психологические и инженерно-психологические вопросы и др.).

3. Создание искусственной среды обитания и системы жизнеобеспечения.

4. Поиск форм жизни в космическом пространстве и на небесных телах (экзобиология).



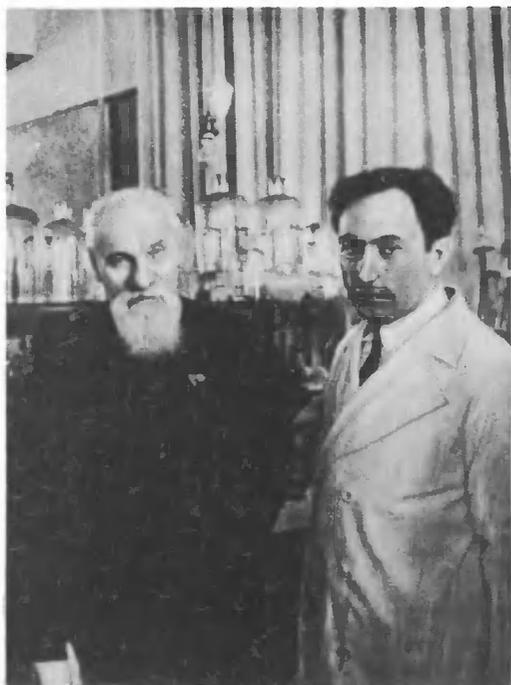
Норайр Мартиросович Сисакян [1907—1966].

К настоящему времени сформировалось много направлений космической биологии — космические физиология, микробиология, генетика, иммунология, радиобиология, гравитационная биология и многие другие. Космос входит в жизнь биологической науки, помогая ее развитию.

Человек не смог бы подняться в космос без развития космической биологии, впитавшей все наиболее существенные достижения современного естествознания. Космические исследования, в свою очередь, стали мощнейшим и эффективнейшим стимулом прогресса многих направлений биологии и медицины.

Достаточно привести лишь несколько примеров. Углубленное изучение космической медициной вестибулярного аппарата, его взаимодействия с другими анализаторами в механизмах пространственной ориентировки и сохранения равновесия значительно помогло развитию теоретической и клинической лабиринтологии, физиологии и авиационной медицины.

Космические полеты человека накопили весьма ценный материал по особенностям энергетического и водно-солевого обмена в измененных гравитационных и



Н. М. Сисакян со своим учителем академиком А. Н. Бахом. 1939 г.

экстремальных условиях, что позволило углубить наши представления о механизмах регуляции различных сторон метаболизма в разных условиях среды обитания, обогатило науку о заболеваниях обмена веществ человека. В связи с этим нам вспоминается то внимание, с которым Н. М. Сисакян относился на самых первых этапах космических полетов человека к особенностям водно-солевого обмена. И он был прав. Водно-солевой обмен оказался одним из наиболее чувствительных и лабильных компонентов реакции человеческого организма на условия невесомости.

Потом нам стало ясно, что этот интерес Н. М. Сисакяна был обусловлен его опытом изучения водно-солевого обмена у засухоустойчивых растений.

Можно также отметить, что большое развитие биоритмологии в последнее время в немалой степени было стимулировано проблемами жизни и деятельности космонавтов в необычных режимах смен дня и ночи, света и темноты, труда и отдыха.

Изучение влияния на организм отдельных факторов полета и их комбинаций в лабораторных экспериментах и в космическом полете положило начало новому

направлению исследования закономерностей комбинированного действия, которое далеко не является суммой эффектов составляющих элементов.

Н. М. Сисакян чрезвычайно поддерживал исследования по влиянию на живые организмы экстремальных условий среды и возможности сохранения жизни в этих условиях. Эти исследования расширили наши знания о биосфере и ее границах, а также помогли в решении многих земных проблем сельского хозяйства, в частности выведении новых сортов растений, способных переносить неблагоприятные условия среды.

Разработки основных принципов и методов жизнеобеспечения, безопасности, приземления, поиска и спасения космических аппаратов не потеряли своего значения до настоящего времени. Они лишь непрерывно совершенствуются. Это направление работы оказалось весьма плодотворным для решения проблем обитаемости жилых и рабочих помещений, определения основных санитарных требований к газовой среде и рабочему месту, требований к методам защиты от вредных факторов.

Успешное создание искусственной биосферы в кабине космического корабля имеет определенный методологический аспект. Хорошо понимая, что сложные и трудные задачи космических исследований могут решаться только на основе правильных методологических позиций, Н. М. Сисакян писал: «Можно сказать, что проблемы, связанные с проникновением человека в космос, являются своего рода пробным камнем зрелости нашей науки. Например, успешный опыт создания систем для продолжительного жизнеобеспечения человека является критерием правильности основных экологических концепций и знаний современной биологической науки. В то же время они расширяют наши представления о биосфере»<sup>2</sup>.

И еще один пример благотворного влияния космических исследований на развитие физиологии и здравоохранения. Разработанные и используемые космической медициной методы оперативного медицинского контроля, дистанционной регистрации физиологических и медицинских показателей и передачи этой информации на расстояние (биотелеметрия) оказались очень действенными в развитии физиологии труда и спорта, а также клинической медицины. К этому можно добавить методы и критерии оценки состояния организма, допусти-

<sup>2</sup> Там же, с. 234.



Генеральный директор ЮНЕСКО Р. Майо поздравляет Н. М. Сисакяна с избранием на пост президента XIII сессии Генеральной конференции ЮНЕСКО. 1964 г.

мых нагрузок, профессионального отбора, подготовки, тренировки и медицинской реабилитации.

К фундаментальным общебиологическим задачам, которые могут решаться благодаря космическим исследованиям, Н. М. Сисакян относит проблемы экзобиологии, в частности поиски жизни в космическом пространстве и на небесных телах, которые могут помочь в решении вопросов о происхождении жизни, путях эволюции и возможности переноса жизни во Вселенной. Он писал: «Для биологов исключительно заманчива перспектива сопоставления обнаруживаемых в мировом пространстве форм жизни с земными. Это позволит выявить характер и пути возникновения и эволюции живой материи во Вселенной, подтвердить общие законы развития материи. Углубленное познание сущности жизни позволит направленно изменять организмы, воздействуя на их взаимоотношения со средой»<sup>3</sup>. В работах Н. М. Сисакяна

обсуждались вопросы контроля и предупреждения возможности переноса земной микрофлоры на другие небесные тела и заноса инопланетных форм жизни из космоса на Землю со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Двумя другими примерами общебиологических проблем, для изучения и решения которых эксперименты в космосе открывают совершенно новые горизонты, являются гравитационная биология и радиобиология первичной космической радиации. Живые организмы в процессе биологической эволюции развивались в стабильных условиях земной гравитации и земного фона ионизирующей радиации. Только исследование, проведенное в условиях, выходящих за пределы этого фона, может позволить оценить его значение как фактора эволюции.

Еще К. Э. Циолковский высказал предположения о том, какими особенностями должны были бы отличаться живые организмы, развивающиеся на больших и малых планетах, т. е. в условиях повышенной и пониженной гравитации. В частности, он предполагал, что при пониженной гравитации (по аналогии с крупнейшими морскими животными) будут развиваться организмы особенно больших размеров.

<sup>3</sup> Там же, с. 235.

В наземных исследованиях, когда крысы и другие лабораторные животные в течение нескольких поколений выращивались на центрифуге, размер животных значительно уменьшался (хотя при этом не совсем удается отдифференцировать адаптивный и дегенеративный компоненты перестройки их организма).

Синтез многочисленных научных материалов по влиянию на организм продолжительных ускорений, с одной стороны, и невесомости, с другой, служит основой для построения концепции гравитационной биологии. Надо со всей определенностью сказать, что проблема биологического действия невесомости еще довольно далека от решения. Тот факт, что организм хорошо подготовленного и тренированного космонавта, использующего целый комплекс средств и методов защиты от неблагоприятного действия невесомости, вполне удовлетворительно переносит полет в течение 150—180 дней, конечно, еще не означает полного решения проблемы биологического действия невесомости. Для этого необходимо систематическое выполнение программы исследований экспериментальных объектов на уровне целого организма и отдельных его органов, а также клеточном, субклеточном и молекулярном уровнях. В частности, нужны генетические и эмбриологические исследования для выяснения вопросов, связанных с оплодотворением яйца, последующего деления клеток, расположения в пространстве оси симметрии зародыша.

Все это в большой степени относится и к космической радиобиологии. Надо сказать, что интерес к биологическому действию тяжелых частиц первичной космической радиации (обладающих колоссальными энергиями — до  $10^{17}$ — $10^{18}$  эВ) значительно помог прогрессу наших знаний в области биологического действия и определения относительной биологической эффективности корпускулярных видов ионизирующей радиации, воспроизводимых на Земле, что имеет немаловажное значение для нашей земной радиобиологии.

Все эти направления исследований, в большой степени заложенные в работах Н. М. Сисакяна, получили большое развитие. Об этом красноречиво свидетельствуют данные наукометрического анализа информационных потоков по космической биологии и медицине за три пятилетки — с 1961 по 1985 г. В библиографическом указателе «Медико-биологические проблемы космических полетов», выпускаемом

издательством «Наука», уже в первом пятилетии (1961—1965) зарегистрировано 4724 публикации, во втором пятилетии (1966—1970) 8258 названий, а в третьем (1971—1975) свыше 10 тыс. С 1968 г. регулярно выходит в свет журнал «Космическая биология и авиакосмическая медицина», выпущены более 40 томов основных Н. М. Сисакяном сборников «Проблемы космической биологии и медицины». Когда возникает новая область исследований, находящаяся, как сейчас принято говорить, «на стыке наук», необходим незаурядный талант организатора, чтобы координировать и направлять усилия коллективов, состоящих из представителей различных направлений: биологов и медиков, психологов, инженеров-конструкторов различных профилей и многих других специалистов. Н. М. Сисакян таким талантом обладал в высокой степени.

Касаясь перспектив освоения космоса, он писал: «Мне хотелось бы с особой силой подчеркнуть, что если взять как перспективную отдаленную задачу «населенный космос», то путь к «населенному космосу» тернист и долог. В настоящее время сделаны лишь первые шаги на этом трудном, но перспективном пути, который, несомненно, приведет к новым победам в освоении космического пространства в интересах мира, дружбы и благосостояния всех стран»<sup>4</sup>.

Один из руководителей ЮНЕСКО, Н. М. Сисакян исключительно глубоко понимал перспективы использования исследований и освоения космоса для улучшения взаимопонимания между народами, достижения научного и технического сотрудничества как между учеными социалистических стран, так и между государствами с различными социально-политическими системами, в частности между Советским Союзом, США и Францией. Он был одним из инициаторов симпозиумов «Человек — в космосе», проводимых под эгидой ЮНЕСКО. Эти международные симпозиумы имеют большое научное, социальное и политическое значение и, прежде всего, потому, что широко ставят такие вопросы, как «человек и среда обитания», «человек и труд», «освоение космоса и новые энергетические, сырьевые и технологические ресурсы для человечества», «освоение космоса и социально-правовые, морально-этические и экономические аспекты».

<sup>4</sup> Там же, с. 239.



Президент АН СССР академик М. В. Келдыш и Главный ученый секретарь Президиума АН СССР академик Н. М. Сисакян. 1966 г.

Успешное исследование и освоение космического пространства, являясь общечеловеческой задачей (как и охрана окружающей среды, изменение климата планеты, использование принципиально новых энергетических и сырьевых ресурсов, а также расширение ареала обитания человека), может быть достигнуто только совместными и координированными усилиями всех ученых и всех народов мира. В этом Н. М. Сисакян был глубоко убежден — тому свидетельством вся его деятельность по расширению сотрудничества в области освоения космического пространства. Благодаря усилиям и энергии Н. М. Сисакяна еще в самом начале 60-х годов были сделаны первые шаги по подготовке фундаментального советско-американского труда «Основы космической биологии и Медицины». Эта работа была успешно завершена в 1975 г. Она получила высокую оценку и стала существенным вкладом в развитие советско-американского и международного сотрудничества в исследованиях космического пространства.

Заслуги Н. М. Сисакяна получили всеобщее признание в мире, он был действительным членом и вице-президентом Международной академии астронавтики, председателем Комитета по биоастронавтике Международной астронавтической федерации, членом ряда международных и национальных научных обществ, а в период с 1964 по 1966 г. — президентом XIII сессии Генеральной конференции ЮНЕСКО. И, наконец, — как высшее проявление признательности человечества его трудовому подвигу — именем Н. М. Сисакяна назван один из кратеров на Луне.

То обстоятельство, что Норайру Мартиросовичу Сисакяну удалось так много сделать в деле становления и развития космической биологии, объясняется не только его научной эрудицией и талантом организатора, но и рядом других замечательных качеств: чрезвычайной работоспособностью, организованностью, доброжелательностью, чуткостью, отзывчивостью, энергичностью и большим личным обаянием. Эти качества притягивали к нему людей, они искали его помощи, консультаций и советов, считали для себя честью работать под его руководством и безусловным долгом точно и в срок выполнять все его поручения, относились к нему с безграничным уважением, симпатией и любовью.

## Мир как целое

### Н. Н. Страхов о развитии естествознания

Н. К. Гаврюшин,  
кандидат философских наук

Москва

Факты в науке не самое важное дело...  
Наука никогда не имеет голого эмпирического характера; главное в ней — метод.

Н. Н. Страхов

Николай Николаевич Страхов (1828—1896) был одним из талантливых интерпретаторов гегелевской диалектики, особенно в ее приложениях к естествознанию. Симпатии к славянофилам, принадлежность к почвенничеству, а главное — долгая и безуспешная полемика с дарвинистами в свое время сослужили Страхову плохую службу, и уже в 1913 г. один из биографов писателя с полным основанием отнес его к «литературным изгнанникам».

Между тем без фигуры Страхова умственное движение второй половины XIX в. не может быть понято вполне. Глубоким, хотя и не всегда явным, было влияние Страхова на русских писателей. С Л. Н. Толстым и А. А. Фетом его связывала искренняя дружба, с Ф. М. Достоевским к тому же и общность убеждений и многолетнее литературное сотрудничество<sup>1</sup>. В 1889 г. Страхов был избран членом-корреспондентом Академии наук по Отделению русского языка и словесности.

В острой полемике со Страховым оттачивали свои концепции К. А. Тимирязев и Вл. С. Соловьев. Прямые идейные противники — Н. Г. Чернышевский, П. А. Кропоткин, Н. К. Михайловский — неожиданно сходятся с ним в оценке дарвинизма<sup>2</sup>, а А. М. Бутлеров и Д. И. Менделеев сталкиваются со Страховым в спо-

рах о спиритизме. Среди писателей по вопросам естествознания Страхов выделяется глубокой философской культурой; он один из немногих в России пытался построить «диалектику природы», опираясь на новейшие достижения науки и понятийный аппарат гегелевской философии.

Для той поры это было не так уж мало. Ведь во второй половине XIX в. под влиянием потока переводной литературы многие отождествляли подлинный научный метод с позитивизмом в духе Конта или Спенсера, считали передовым мировоззрением вульгарный материализм Бюхнера, верили в возможность исправления нравственности с помощью химических пилюль... На фоне таких распространенных умонастроений призывы Страхова обратиться к гегелевской диалектике, его критика наивного эмпиризма (включая опыты со столверчением и вызыванием духов) имели известное положительное значение.

Оценка общественно-политических взглядов Страхова, мыслителя весьма консервативного, сложилась достаточно давно и слишком хорошо известна, чтобы ее повторять<sup>3</sup>. Его литературно-критическое наследие продолжает привлекать к себе внимание; что же касается работ в области истории и философии науки, то они, по существу, оказались забытыми. Это обстоятельство и определило основную задачу настоящей статьи — придерживаясь подлинных текстов сочинений Н. Н. Страхова (важно не только что, но и как он

<sup>1</sup> Долинин А. С. Ф. М. Достоевский и Н. Н. Страхов. — В кн.: Шестидесятые годы. М.—Л., 1940, с. 238.

<sup>2</sup> См., напр.: Михайловский Н. К. Дарвинизм и оперетка Оффенбаха. Полн. собр. соч., т. 1, изд. 5-е. СПб, 1911, с. 391.

<sup>3</sup> БСЭ, изд. 3-е, т. 24 (1), с. 556.

говорил), дать по возможности связное изложение его взглядов на развитие естествознания, ограничиваясь самым кратким комментарием. Обстоятельный критический разбор мировоззрения ученого — дело особого большого труда, предполагающего, в частности, изучение многих неопубликованных материалов, детальное уяснение его творческой эволюции. Как бы ни была в дальнейшем оценена деятельность Страхова в области естествознания, несомненно одно — его идеи способны будить мысль.

Вопросы естествознания были в центре научных интересов Страхова на протяжении всей его жизни. Уже в магистерской диссертации «О костях запястья млекопитающих» (1857) он высказывает целый ряд общих соображений о принципах научного познания, а в 1865 г. выходит в свет его первая работа собственно методологического характера «О методе естественных наук и значении их в общем образовании», содержащая контуры важнейших, позднее развитых им концепций.

Любопытно, что в этой книге Страхов отнюдь не заявлял себя противником эволюционной теории, напротив — отмечал громадное научное значение дарвинизма и стремился лишь на первых порах по возможности объективно отделить в нем существенное содержание от недостаточно продуманных и обоснованных выводов. Позднее, в пылу полемики, Страхов отказался от прежней объективной оценки теории Дарвина и встал по отношению к ней на крайне критическую точку зрения. Но ни это обстоятельство, ни политический консерватизм мыслителя не должны, по-видимому, заслонять от нас ценных сторон его методологического наследия, как не скрывают идеализм и преклонение перед прусской монархией непреходящего значения диалектики Гегеля.

## ЗНАНИЕ И ЭСТЕТИЧЕСКОЕ ЧУВСТВО

Любым методологическим построениям должно предшествовать ясное понимание места науки в целостной системе человеческой деятельности. По мнению Страхова, «естественные науки имеют особый интерес: как полезные в практике, как удовлетворяющие особым теоретическим потребностям ума и, наконец, как питающие эстетическое чувство»<sup>4</sup>. Что



Н. Н. Страхов. 1895, Ясная Поляна.

касается первого, то Страхов глубоко убежден в неправомерности чисто утилитаристского подхода к науке: «С его точки зрения, «люди, стремящиеся к практической пользе, делают странную ошибку, воображая иногда, что наука есть не более, как орудие для их цели»; «что науки могут приносить пользу — в этом нет сомнения, но только потому, что в известных случаях все может быть полезно»<sup>5</sup>.

Если практическое значение науки не только хорошо создается большинством, но зачастую и преувеличивается, то эстетический смысл естествознания, как правило, замечают немногие. Между тем именно естественные науки являются своего рода ступенью от абстрактно-рассудочных форм познания (и бытия!) к конкретно-индивидуальному, полнोजизненному, эстетическому отношению к природе; благодаря им «мы не только относимся к существам природы нашей мыслью, но

<sup>4</sup> Страхов Н. Н. О методе естественных наук и значении их в общем образовании. СПб., 1865, с. 130.

<sup>5</sup> Там же, с. 99.

вступаем к ним в самые прямые и полные отношения; мы становимся к этим существам лицом к лицу, и между нами и ими возникает всевозможное взаимодействие. Отсюда является то эстетическое сближение с природою, которое не подходит под формы отвлеченной мысли. Мы не понимаем, но чувствуем ту внутреннюю жизнь, которая лежит в сущности предметов»<sup>6</sup>.

Эстетическое творчество или восприятие есть качественно новое состояние, в котором мы «темно предугадываем то, до чего еще не дошла никакая наука». Дискурсивное мышление лишь стремится постигнуть целостность природной жизни; эстетическому взору она непосредственно дана. Но именно поэтому,— продолжает Страхов,— «эстетическое знакомство с природою нужно строго отличать от научного, потому что, чем яснее они будут отделены, тем строже и точнее будут приемы и весь ход каждого из них»<sup>7</sup>.

В этом различии научного и эстетического, или шире — научного и вне-научных форм познания, и заключается одна из важнейших задач методологии и философии науки, осуществляющих самосознание и самоорганизацию научной деятельности.

Методологию, в частности, Страхов понимал отнюдь не как совокупность предписаний и норм, привносимых извне в работу естествоиспытателя. Он считал ее своеобразным способом осмысления фактически действующих исследовательских установок, порой принимаемых ученым совершенно произвольно, без должной критики. Довести до сознания естествоиспытателя то, что им осуществляется отчасти бессознательно, отмечая при этом фактические расхождения с предпосылаемой научной работе программой,— вот что должен делать методолог. «Стать на одну почву с натуралистом и, следя за его научными приемами, давно употребляемыми, принесшими и приносящими действительные плоды, показать априоричность, которая по сущности дела присутствует в этих приемах,— несравненно убедительнее и ближе к цели, нежели трактовать о методе с философской точки зрения»<sup>8</sup>.

Следуя по этому пути, философская рефлексия скорее всего сможет выявить поле деятельности, принципы и задачи науки, установить таким образом ее пределы,

а с ними — и сферу, выходящую из компетенции отдельной частной науки. «Принцип всякой науки не только связывает и централизует все ее частности, но он же определяет и самую область науки, указывает границу, за которую прекращается ее господство». Поэтому, сконцентрируем здесь мысли Страхова, изложенные на двух страницах, добываясь определенности в понимании принципов и методов естествознания, мы будем «видеть, что существуют более общие и высокие задачи, не разрешаемые частными науками, стоящие вне частных научных сфер», и «можем уразуметь вообще дух рационализма, к области которого, без сомнения, принадлежит все, что в науках есть истинно научного». Коль скоро же будет положена граница рационализму, «может произойти сознательное и правильное отношение ума к жизни, взятой во всей ее полноте»<sup>9</sup>.

Страхов задается, таким образом, весьма широкой задачей: на материале той или иной частной дисциплины показать методологические установки науки как таковой, вывести отсюда принципы и границы рационализма и на этой основе сделать кардинальные мировоззренческие обобщения. Выраженный буквально в двух словах пафос его мысли сводится к тому, что нельзя смотреть на жизнь только с позиций науки (идея «научного» господства над природою тогда как раз набирала силу, право на свободу эксперимента казалось неоспоримым)— мы перестали чувствовать жизнь и теряем смысл науки; самоопределение и самоограничение науки сохраняют и ее самое и природу.

## ЗНАЧЕНИЕ ИСТОРИИ НАУКИ

Каким же образом возможно определение науки?

«Когда мы желаем дать определение какой-нибудь науки, то указываем в ней на две черты: во-первых, мы обозначаем предмет, которым она занимается, и, во-вторых, то, как она им занимается». Однако вопрос об определении предмета весьма прост, и, по существу, можно сказать, что «никогда наука не знает пределов своей области, а только постоянно стремится найти их и выяснить»<sup>10</sup>. Кроме того, «если различные науки могут относиться к одному и тому же предмету, то значит никакая

<sup>6</sup> Там же, с. 124.

<sup>7</sup> Там же, с. 127, 129.

<sup>8</sup> Там же, с. VIII.

<sup>9</sup> Страхов Н. Н. Об основных понятиях психологии и физиологии. СПб., 1894, с. VI—VII.

<sup>10</sup> Там же, с. 89—90.

наука не исчерпывает своего предмета». Поэтому область каждой науки определяется не ее предметом, «а лишь определенной стороной; с которой она смотрит на вещи»<sup>11</sup>.

«На знаменитый вопрос: как отделить субъективное в нашем познании от его объективного содержания, — нужно отвечать, что никакое отделение здесь невозможно, что определенная точка зрения (т. е. субъективный элемент) есть необходимое условие познания, условие, которое не только не лишает его объективности, а одно лишь и делает его объективным, так как только с определенной точки может получиться определенный образ»<sup>12</sup>.

Каким же образом формируется и как может быть выявлена научная точка зрения?

«То, что мы называем точкой зрения в науке, разумеется, есть дело более существенное и глубокое, чем точка зрения в обыкновенном смысле. В науке это будут те основные принципы и понятия, под которые она подводит действительность. История показывает, что эти понятия вырабатываются с величайшим трудом, что это как бы новые органы, которые в течение столетий вырабатывает у себя человеческий ум. Можно, конечно, построить некоторую теорию этих понятий и попытаться а priori определить различия в принципах наук и их взаимное отношение. Но есть другой путь, ведущий к той же цели, но совершенно надежный и, вероятно, более плодотворный: это — изучение самых наук в их глубочайших основах и в их историческом развитии»<sup>13</sup>. Страхов глубоко убежден, что «история наук... есть история путей, по которым идет ум человеческий, и изучая ее, мы изучаем вместе и основываем приемы ума»<sup>14</sup>. «Между тем, — сетует он, — это изучение обыкновенно пренебрегается, и люди, вновь посвящающие себя науке, прямо хватаются за последние вышедшие книги, хлопочут только о том, чтобы узнать последнее слово науки, в котором и видят всю науку»<sup>15</sup>.

История науки имеет и непосредственное практическое, и важнейшее методологическое значение; без нее невозможно понять сущность творческой деятельности естествоиспытателя, разграничить в ней ро-

ли сознательного и бессознательного, индукции и дедукции и т. д.

Но что же самое существенное при изучении истории наук, в какие моменты в ней наиболее ярко проявляются закономерности развития знания?

«Гениальные люди, великие открытия — вот настоящая история наук; она совершается скачками, внезапными поворотами, и в этих-то поворотных пунктах нужно исследовать и решить, где причины этих огромных толчков, из которых уже легко объясняется все последующее движение». Мысль эта уже и в то время была не нова, а Страховым к тому же выражена намеренно заостренно, потому что ему хотелось непременно выявить причины научных движений вне науки, причем не в области общественно-экономических отношений, а в первую очередь в сфере психологии. «Чтобы двинуть науку, — продолжает эту мысль Страхов, — нужна точка опоры вне науки, совершенно так же, как это необходимо, по замечанию Архимеда, для передвижения всякого вещественного предмета»<sup>16</sup>.

Такой точкой опоры являются, как правило, различного рода вненаучные (художественные, философские и другие) идеи, принимаемые, как правило, произвольно, эстетически; они создают прочную установку мышления, способствующую появлению нового взгляда: «Идея обыкновенно принимается по некоторому бессознательному сочувствию, по сродству с полновзвешенными и неясными стремлениями внутреннего мира человека; а когда идея принята, она, как мы всегда говорим, овладевает человеком, т. е. разрастается в нем, как семя, попавшее в пригодную почву. Человек начинает на все смотреть со своей точки зрения и всюду видит подтверждение своей идеи»<sup>17</sup>.

Так, приводит примеры Страхов, поиски музыкально-математической гармонии мироздания привели И. Кеплера к открытию законов движения планет, а А. Келликер и К. Бэр нашли в шеллинговой натурфилософии «полнейшее разрешение и живейшее возбуждение» к созданию эмбриологии. Однако отсюда отнюдь не следует, что естественные науки не имеют своих собственных понятий и методов. Задача методологии науки и заключается, в частности, в том, чтобы отделить концепции, образованные на основе собственно научных методов, от тех, которые привносятся в науку извне. Способность по-

<sup>11</sup> Там же, с. 98, 104.

<sup>12</sup> Там же, с. 105.

<sup>13</sup> Там же, с. 106.

<sup>14</sup> Страхов Н. Н. Мир как целое. СПб., 1892, с. 322.

<sup>15</sup> Страхов Н. Н. Об основных понятиях..., с. 252.

<sup>16</sup> Там же, с. 245—246.

<sup>17</sup> Там же, с. 249.

следних выступать и в роли сковывающих предрассудков, и в функции катализаторов научного творчества заставляет нас постоянно заботиться о критике употребляемых нами понятий.

При этом совсем не обязательно изгонять из науки привнесенные в нее из других сфер представления: в отдельных случаях они, как видно, могут быть плодотворнее собственно научных. Надо лишь твердо отдавать себе отчет в их происхождении. Так, — отмечает Страхов, — мы называем организмы живыми существами не по каким-нибудь их вещественным особенностям, а потому, что переносим на них то понятие жизни, которое черпаем из самих себя и в котором первоначально не заключается никакой вещественной черты.

### ОПЫТ И ПОНЯТИЙНОЕ МЫШЛЕНИЕ

Подобному интуитивному образованию представлений противостоит сознательно применяемый собственно научный метод, который, в первую очередь, «сводится на искусство — сравнивать и группировать явления. Сравнить — значит находить единство или тождество между явлениями. Группировать — значит определять их разнообразие»<sup>18</sup>. Этот метод не без труда прокладывает себе дорогу, потому что «мыслить готовыми понятиями и говорить готовыми словами — вот самый обыкновенный прием, который долго считался единственным и, конечно, никогда не выйдет из употребления».

Но «естественные науки прямо противоположны такому догматическому настрою мышления. Именно они отрицают всякие готовые, предвзятые понятия; метода их прямо противоположна и состоит в том, чтобы постепенно образовывать новые понятия, годные для изучаемых ими предметов».

Новые понятия, разумеется, требуют и нового языка: «Таким образом происходит на свет терминология, огромный искусственный язык, превосходящий объемом каждый из естественных языков. Язык этот отличается от цicerоновского и вообще от всякого другого естественного языка прежде всего своим безобразием; иначе это и не может быть при искусственном его происхождении. Но терминология тем не менее имеет драгоценные научные свойства; во-первых, она одна для целого мира, она есть общий язык — как наука есть единая и общая

для всех наука. Во-вторых, этот безобразный язык выкупает свое безобразие совершенной определенностью, точностью значения»<sup>19</sup>.

Сравнение, классификацию явлений и соответствующее образование новых понятий и терминов естественные науки осуществляют с помощью опыта, наблюдения, эксперимента. Донаучное знание и его выражение в естественном языке осуществляются, правда, на той же самой основе. Отличие естественнонаучного познания заключается в сознательной установке на экспериментирование. Внешние успехи в реализации этой установки чреватые порой отрицательными последствиями, предупредить которые — важная задача методологии науки.

Прежде всего, опыт не может быть единственным и главным критерием знания; ведь установка на опытное познание есть сама по себе следствие некоторой теории; «предписание, что должно держаться одного опыта, может быть выведено лишь из некоторой теории, исследующей природу познания и показывающей, что все другие пути ложны, кроме этого». «Мало сказать себе: буду держаться одного опыта; нужно еще уметь везде отличать опыт от того, что не есть опыт»<sup>20</sup>.

Иными словами, выбирая движение от частного к общему, не следует забывать, что оно неразрывно связано с ему противоположным, а обнаруживать действительные пути познания можно только при определенной логической культуре.

В процессе опытного познания нужно четко отличать классы сравниваемых явлений; бесполезно подвергать опытной проверке то, что привнесено в науку из иных сфер мысли; нелепо рассматривать жизнь наравне с физическими явлениями: «Наблюдать можно только то, что не дано раньше наблюдения; доказывать опытом только то, что не может быть известно a priori, сравнивать — только вещи между собою однородные. Что сказал бы математик, если бы нашелся трудолюбивый ученый, который для доказательства Пифагоровой теоремы стал делать опыты и наблюдения?»<sup>21</sup>.

Наряду с установкой на опытное познание естественные науки отличает свой особый категориальный строй мышления. Однако понятия, которыми оперируют

<sup>18</sup> Страхов Н. Н. О методе естественных наук..., с. 152.

<sup>19</sup> Там же, с. 153—155.

<sup>20</sup> Страхов Н. Н. Философские очерки. Киев, 1906, с. 265, 266.

<sup>21</sup> Там же, с. 232.

естествоиспытатели, обладают различной глубиной и силой, отражая разные ступени развития мышления. «Так, мы ничего не можем понимать иначе, как посредством идей, или лучше — категорий, и так как понимание тем глубже, чем выше категории, под которые мы подводим явления, то понятно, что теперь мы стараемся все понимать посредством самых высших наших категорий, т. е. категорий органических. Тот, кто понимает только механическую связь, тот и будет искать только такой связи между явлениями и будет удовлетворен, когда найдет ее. Но если у нас есть понятие о другой связи, о более глубоких отношениях между явлениями, то мы не удовольствуемся одною механическою связью, а будем искать высшей, органической».

Нахождению такой связи лучше всего способствует гегелевская диалектика, являющая собой «завершение того мышления, которое стремится к органическому пониманию вещей»<sup>22</sup>. Это, конечно, очень ответственное и уязвимое утверждение, но вряд ли можно ставить Страхову в вину, что он не замечал известной механистичности и безжизненного рационализма системы Гегеля.

Значение философии для развития естествознания, особенно в плане уточнения категориального аппарата науки, Страхов вообще оценивает очень высоко. «Прямая и положительная польза от философии для естественных наук будет состоять именно в разъяснении тех понятий, которые постоянно встречаются в этих науках, в уяснении смысла их категорий. Натуралисты постоянно употребляют слова: сила, причина, атом, сходство, различие и проч., словом, употребляют множество категорий, под которые и подводят все свои предметы; а между тем они и знать не хотят о Логике, хотя Логика и есть наука об этих самых категориях»<sup>23</sup>.

Временные неудачи философии не должны служить предлогом для ее полного игнорирования естествоиспытателями, и если гегелевская философия природы далека от совершенства, это еще не значит, что диалектика природы невозможно вообще: «Приложите Логикю к природе, и вы получите философию природы»<sup>24</sup>. Призыв этот в значительной мере остался декларацией, потому что просто повторять опыт

Гегеля было бессмысленно, а реально преобразовать гегелевскую логику Страхов не мог. Стремление к «органическому» синтезу оставалось для него далекой мечтой, а вот в анализе, расчленении он чувствовал себя куда увереннее.

Страхов энергично настаивает, что естественные науки не должны узурпировать права философии на объяснение сущности мироздания. Это не означает, разумеется, что он вообще отказывает естествоиспытателям в праве на мировоззренческие обобщения; напротив, он в известной степени даже поддерживает естественнонаучный материализм — например, «материализм в физиологии». Но отсюда еще не следует, что философская мысль должна ставить себя в зависимость от естественнонаучной; «в физиологии как науке нет никаких элементов, которые противоречили бы философии и могли заставить ее изменять свои решения»<sup>25</sup>. Дело естествознания, считает Страхов, — изучение мира природных явлений; объяснение сущности мироздания — задача философии. Можно, конечно, усматривать здесь рецидив кантианства, отрыв сущности от явления, недиалектический характер мысли и т. п., но нельзя отказать Страхову в правомерном стремлении разграничить различные стороны познавательной деятельности.

## МИР КАК ГАРМОНИЧЕСКОЕ ЦЕЛОЕ

Когда естествоиспытатели забывают о своих основных задачах и пускаются в натурфилософские спекуляции, они неизбежно строят искаженную, упрощенную картину мироздания. И если Страхов вслед за Гегелем решительно выступает против атомистики, то, конечно, он восстает не против естественнонаучной гипотезы, а против атомистики как натурфилософской теории, ибо, декларируя свой опытный характер, атомистика тем не менее именно опыту и противоречит и «свои неизменные частицы принуждена сделать невидимыми, неосознаваемыми, недостижимыми никаким способом», а «пустая игра атомов — простое их передвижение — не представляет никакой возможности вполне исчерпать даже самое простое явление»<sup>26</sup>.

<sup>25</sup> Там же, с. 213.

<sup>26</sup> Страхов Н. Н. Мир как целое, с. 376. См. также: Гавришин Н. К. Критика космизма Н. Н. Страховым. — В сб.: Из истории авиации и космонавтики, вып. 30. М., 1976, с. 46.

<sup>22</sup> Страхов Н. Н. О методе естественных наук..., с. 79, 90.

<sup>23</sup> Страхов Н. Н. Философские очерки, с. 38.

<sup>24</sup> Там же, с. 39.

Включая в натурфилософские построения предвзятые, непродуманные представления и концепции, естествоиспытатели «бессознательно начинают смотреть на свое пространство и время как на совершенное ничто; сущности же бытия начинают искать в том, что содержится в пространстве и времени»; точно так же представление о неизменности, или однородности пространства, «берется физиками не из опыта, а предпосылается опыту»<sup>27</sup>. И предвосхищая физические теории XX в., с одной стороны, солидаризуясь с современной ему неевклидовой геометрией, с другой, и, наконец, воссоздавая античное представление о космосе, с третьей, Страхов решительно утверждает мысль о неоднородности пространства: «Мир заключается в пространстве, и, следовательно, части пространства отличаются между собою точно так же, как части мира»; «то, что сказано о пространстве, можно вполне применить и ко времени; не только мировые явления совершаются во времени, но они по самой сущности своей временные; не только время их содержит в себе, но они сами неизбежно содержат в себе время»<sup>28</sup>.

То обстоятельство, что эмпирическое естествознание убедилось впоследствии в правоте этих слов Страхова, заставляет с вниманием отнестись и к следующим его высказываниям:

«Бесчисленные приложения физики и химии, удивительные приспособления явлений к нуждам и потребностям человека основаны вовсе не на том, что физики и химики постигли сущность вещества, природу сил, в нем действующих. Нет, они успели только с точностью определить условия, необходимые для совершения тех или других явлений, и этого достаточно для того, чтобы управлять по произволу вещами и силами, неизвестными по своей сущности»<sup>29</sup>.

Естественные науки не могут поэтому определять целей человеческой деятельности. Не должны они навязывать внешних целей и природе — именно потому, что не их дело познание и изменение сущности вещей. Стремление любыми средствами продлить человеческую жизнь, может быть даже в ущерб другим живым существам, есть прямое насилие над природой: «Срок человеческой жизни, без

сомнения, принадлежит к самому типу человеческого развития, и в глазах настоящего натуралиста это нормальный срок, так что его сокращение или удлинение было бы искажением жизни организма»<sup>30</sup>.

Внешнее, глухое к голосу природы целеполагание направляет человеческую деятельность по ложному пути.

«Нам представляется цель обыкновенно в виде какой-то меты, стоящей впереди предмета, так что он может достигнуть ее разными путями и может быть подвинут к ней постороннею силою. Между тем, правильнее сказать, что цели вложены в самые предметы, заключены внутри сил и явлений мира и потому могут быть достигаемы только раскрытием внутренней природы самих вещей»<sup>31</sup>.

С природой нельзя обращаться как с внешней косной материей, использовать ее лишь как средство для привносимых извне целей. Реализация подобной установки губительна и для природы и для человека.

Страхов считает, что природа должна быть понята как самодеятельная, развивающаяся на разных этапах к высшим формам жизни, требующая признания себя как развивающейся жизни и помощи в своем развитии.

Противоположное миропонимание, основанное на внешнем рассудочном целеполагании, — с ним и ведет борьбу мыслитель — возникает вследствие засилья метафизического мышления, огрубленной трактовки отношений субъекта и объекта, упадка не только философии, но и истинно научного духа в частных областях знания. Своим первейшим следствием — и одновременно руководящим принципом — оно имеет безжизненную, механистическую, раздробленную картину мироздания. «Мир есть прекрасная гармоническая сфера; изучая его, натуралисты нашли, что он как будто в оболочке заключен в пространстве и времени; они сняли эту оболочку и отбросили ее, как пустую шелуху. Точно так же они потом снимают и отбрасывают слой за слоем, воображая, что таким образом могут добраться до глубокого таинственного зерна. По окончании работы — что же оказывается? Зерна нигде нет, и весь мир разрушен в безобразные обломки»<sup>32</sup>.

<sup>27</sup> Страхов Н. Н. Мир как целое, с 423, 339—340.

<sup>28</sup> Там же, с. 420, 421.

<sup>29</sup> Страхов Н. Н. Философские очерки, с. 280.

<sup>30</sup> Страхов Н. Н. Об основных понятиях..., с. 207—208.

<sup>31</sup> Там же, с. 226.

<sup>32</sup> Страхов Н. Н. Мир как целое, с. 423.

Но всякое подлинно научное исследование направляется развиваемым диалектической философией представлением о целостной организации мироздания: «Мир как целое есть главная руководящая идея в исследовании природы, та мысль, к которой необходимо приводит правильный ход науки в каждом частном случае»<sup>33</sup>.

Каковы же основные черты, руководящие идеи системно-целостного миропонимания?

«Мир есть целое, то есть он связан во всех направлениях, в каких только может его рассматривать наш ум...

Мир есть стройное целое, или, как говорят,— гармоническое, органическое целое. То есть части и явления мира не просто связаны, а соподчинены, представляют правильную лестницу, пирамиду, всего лучше сказать — иерархию существ и явлений...

Мир есть целое, имеющее центр; именно, он есть сфера, средоточие которой составляет человек. Человек есть вершина природы, узел бытия. В нем заключается величайшая загадка и величайшее чудо мироздания. Он занимает центральное место по всем направлениям связей, соединяющих мир в одно целое; он есть главная сущность, и главное явление, и главный орган мира»<sup>34</sup>.

Но только в целостном бытии, полноте реализации сущностных сил и способностей действительно **выражает** и **испытывает** человек **сущность** мира: вопрошает, просветляет, возвышает,<sup>1</sup> но — не насилует и не разрушает. Сводя же полноту своего бытия к одностороннему практицизму или отвлеченному рационализму, он губит и природу, и самого себя.

Не абстрактно-рассудочный идеализм, ставящий идею выше реальности, перекраивающий действительность по отвлеченной идее, а несомненный и искренний материализм как сыновнее отношение к матери-природе торжествует в этой концепции. Не случайно Страхов, по его словам, «не очень сердился», когда Вл. Соловьев провозгласил его материалистом. Долго, слишком долго критика Страховым вульгарного материализма понималась как критика материализма вообще. Но это терминологическое недоразумение. Страхов действительно критикует весь и всякий ему известный материализм за непонимание «самодеятельности вещества», за метафизический раз-

рыв пространства, времени, материи и движения; он стремится «показать, что пространство и время необходимо связаны с веществом, и что вещество не есть что-либо неизменное... что силы не суть что-то особое от вещества, только данное ему, но что они вытекают из его сущности». Страхов глубоко убежден, что лишь на основе представления о самоорганизующейся природе материи, формируемого с помощью «органических» категорий, «можно будет рассматривать мир как одно целое, как гармоническую сферу»<sup>35</sup>.

Наглядно показать возможность подобного рассмотрения Страхову было не под силу. Более того, при всем большом его критическом таланте и стремлении до конца обнаруживать «вненаучные», часто бессознательные источники умозрительных построений, он так и не догадался, что выдвигает задачу создания еще одной «системы», хотя на протяжении всего творческого пути как раз против законченных систем, закрытых для жизненного дыхания, и боролся. «Мир как целое» остался все-таки эстетическим идеалом, возможность осуществления которого в науке Страховым доказана не была.

В концепции Страхова отразились и романтические мотивы шеллинговской натурфилософии, и сильное влияние диалектики Гегеля. Но его работы по методологии естествознания всего менее могут быть классифицированы как эпигонский идеализм. Они знаменуют собой не только освобождение русской естественнонаучной методологии от засилья наивного эмпиризма и вульгарного материализма, но и ее эмансипацию от немецкого идеализма на путях к диалектико-материалистическому пониманию природы.

Во многом созвучные современным поискам гармонических отношений человека и природы искания Страхова не должны выпадать из поля зрения методологии естествознания.

<sup>35</sup> Там же, с. 438, 444.

<sup>33</sup> Там же, с. VIII.

<sup>34</sup> Там же, с. VII—VIII.

## Космические исследования

## Запуски космических аппаратов в СССР

(март—апрель 1982 г.)

В марте — апреле 1982 г. в Советском Союзе было запущено 19 космических аппаратов, в том числе 15 спутников серии «Космос» с научной аппаратурой, предназначенной для продолжения исследований космического пространства. На спутнике «Космос-1353» установлена научная аппаратура для продолжения исследований природных ресурсов Земли в интересах различных отраслей народного хозяйства СССР и международного сотрудничества. Информация с этого спутника поступает в Государственный научно-исследовательский и производственный центр «Природа» для обработки и использования.

Орбитальная научная станция «Салют-7» запущена для продолжения научно-технических исследований и экспериментов, проводимых на советских пилотируемых комплексах в интересах науки и народного хозяйства. В ходе полета будет проведена отработка усовершенствованных систем и аппаратуры орбитальных станций.

На очередном спутнике связи «Горизонт», запущенном на близкую к стационарной круговую орбиту, установлена усовершенствованная многоствольная бортовая ретрансляционная аппаратура для обеспечения телефонно-телеграфной радиосвязи и передачи телевизионных программ, а также необходимая служебная аппаратура.

Очередной спутник связи серии «Молния-3» запущен для дальнейшей эксплуатации системы дальней телефонно-телеграфной радиосвязи и передачи программ Центрального телевидения СССР на станции сети «Орбита» и в рамках меж-

дународного сотрудничества. На спутнике установлены ретрансляционная аппаратура, работающая в сантиметровом диапазоне длин волн, и необходимые служебные системы.

На борту очередного метеорологического спутника «Метеор-2» размещены комплексы аппаратуры для получения глобальных изображений облачности и подстилающей поверхности Земли в видимом и инфракрасном диапазонах спектра как в режиме запоминания, так и в режиме непосредственной передачи, а также радиометрическая аппаратура для непрерывных наблюдений за потоками проникающих излучений в околосолнечном космическом пространстве. Служебное оборудование спутника включает систему, обеспечивающую ориентацию спутника на Землю; систему электроснабжения с автономной ориентацией солнечных батарей на Солнце; радиотелетрическую систему для передачи на Землю данных о работе служебных систем

спутника; радиосистему для точного измерения параметров орбиты; радиокomплекс для передачи на Землю научной и метеорологической информации.

## Астрофизика

## Роль магнитного поля в жизни галактик

По мнению австралийского астрофизика Дж. Пиддингтона, роль магнитного поля в формировании и дальнейшей эволюции галактик и их скоплений сильно недооценивается. На существование межгалактического магнитного поля напряженностью  $10^{-9}$ — $10^{-8}$  Гс указывают фарадеевское вращение плоскости поляризации радиоизлучения от внегалактических источников, обширные радиогало спиральных галактик, непрерывное диффузное радиоизлуче-

Космический аппарат	Дата запуска	Параметры начальной орбиты			
		перигей, км	апогей, км	наклонение, град	период обращения, мин
«Космос-1341»	3.III	614	40 165	62,8	709
«Космос-1342»	5.III	207	326	72,9	89,5
«Горизонт»	15.III	36 320	36 320	0,7	1 463
«Космос-1343»	17.III	208	314	72,9	89,4
«Молния-3»	24.III	656	40 615	62,9	736
«Космос-1344»	24.III	987	1 023	82,9	105
«Метеор-2»	25.III	954	976	82,5	104,2
«Космос-1345»	31.III	507	550	74	95,2
«Космос-1346»	31.III	623	675	81	97,6
«Космос-1347»	2.IV	181	364	70,4	89,7
«Космос-1348»	7.IV	613	39 342	62,8	709
«Космос-1349»	8.IV	984	1 025	83	105
«Космос-1350»	15.IV	181	380	67,2	89,8
«Салют-7»	19.IV	219	278	51,6	89,2
«Космос-1351»	21.IV	349	555	50,7	93,5
«Космос-1352»	21.IV	216	383	70,4	90,2
«Космос-1353»	23.IV	218	269	82,3	89,1
«Космос-1354»	28.IV	795	829	74	101
«Космос-1355»	29.IV	438	459	65,1	93,3

ние от скоплений галактик и некоторые другие эффекты.

Крупномасштабное магнитное поле в диске нашей Галактики, как считает Пиддингтон, связано с захватом и усилением межгалактического поля в процессе первоначального сжатия Галактики, произошедшего около 15 млрд лет назад. Подобное предположение лучше объясняет высокую напряженность (около  $5 \cdot 10^{-6}$  Гс) и большую однородность галактического магнитного поля, чем разрабатываемый некоторыми теоретиками механизм усиления небольших случайных магнитных полей в результате турбулентного движения межзвездной среды.

Основываясь на существовании сравнительно однородного межгалактического магнитного поля, Пиддингтон пытается объяснить множество астрофизических фактов, не нашедших пока исчерпывающего объяснения в рамках традиционных теорий. Так, различие в типах галактик (спиральных, эллиптических, линзовидных и др.) связано, по мнению Пиддингтона, с начальной ориентацией оси вращения газового облака — будущей галактики — относительно направления межгалактического магнитного поля: чем больше угол между осью вращения и направлением поля, тем сильнее магнитное давление задерживало движение газа и подавляло тем самым образование звезд, что характерно для спиральных и неправильных галактик. С другой стороны, такое направление поля способствует образованию в галактике спиральных рукавов.

Предполагая, что крупномасштабное магнитное поле нашей Галактики является продолжением межгалактического поля, Пиддингтон объясняет обнаруженное уже много лет назад искривление межзвездного газового диска относительно галактической плоскости, а также странный характер вращения нейтрального водорода на периферии нашей и других спиральных галактик, наличие высокоскоростных газовых облаков вокруг Галактики, газовый хвост, тянущийся за спутниками нашей Галактики — Магеллановыми Облаками, и даже высокую активность ядер некоторых массивных галактик.

Хотя Дж. Пиддингтон ограничивается лишь качественными рассуждениями или приближенными оценками, его попытка выяснить роль крупномасштабных магнитных полей, безусловно, заслуживает внимания.

Astrophysical and Space Science,  
1981, v. 80, № 2, p. 457—471  
(США).

Физика

## Рассеяние атомов коротким импульсом стоячей световой волны

Группа исследователей под руководством Г. И. Сурдучовича (Физический институт им. П. Н. Лебедева АН СССР) впервые наблюдала рассеяние нейтральных атомов натрия коротким импульсом лазерной световой волны (в отличие от использовавшихся ранее стационарных полей).

В экспериментах пучок атомов натрия с начальной расходимостью  $5 \cdot 10^{-4}$  рад и диаметром 1 см пропускался сквозь поперечную стоячую световую волну, создаваемую лазером с длиной волны излучения порядка 600 нм.

По существу, электромагнитное поле стоячей лазерной световой волны представляет собой периодический потенциальный рельеф, аналогичный периодическому потенциальному рельефу кристаллической решетки. Поэтому рассеяние заряженных частиц на такой волне в мощных лазерных полях будет иметь дифракционный характер. Нейтральные атомы (и молекулы) приобретают дипольный момент в резонансном поле стоячей волны (соответствующем собственным частотам внутренних колебаний) и рассеиваются аналогично заряженным частицам.

Большая величина градиентных сил светового давления позволяет использовать короткие световые импульсы длительностью  $10^{-8}$  с. Тогда спонтанное излучение не успевает изменить знак (фазу) дипольного момента атома за время импульса, и поэтому рассеяние атомов будет когерентным.

Так как поперечный раз-

мер атомного пучка много больше длины волны света, то симметрия потенциала стоячей лазерной световой волны приводит к симметричному рассеянию атомного пучка. Для лазерных полей с напряженностью электрического поля порядка  $10^3$  В/см угол рассеяния составил  $6 \cdot 10^{-3}$  рад.

Поскольку в работе использовалась весьма малая энергия в лазерном импульсе ( $10^{-5}$  Дж), то в дальнейшем можно существенно увеличить углы рассеяния за счет больших энергий в импульсе.

По сравнению со стационарными методами, импульсное рассеяние имеет ряд преимуществ. Так, для рассеяния атомов можно применять нефокусированные световые пучки, что увеличивает объем взаимодействия атомов с полем. Такое рассеяние носит селективный характер, т. е. атомы с разными массами и скоростями рассеиваются на разные углы. Поэтому эффект предполагается использовать для сепарации атомов по скоростям, а также для разделения изотопов.

Письма в ЖЭТФ, 1981, т. 34, № 7,  
с. 395—399.

Физика

## Поляризация ядер лазерным излучением

Для многих задач ядерной физики нужны интенсивные пучки быстрых легких ионов с определенным образом ориентированными в пространстве ядерными спинами (так называемые поляризованные ядра). Как оказалось, можно получать почти 100%-ную поляризацию ядер, облучая атомы монохроматическим лазерным излучением. Поляризация ядер происходит за счет спин-спинового взаимодействия ядерных спинов со спинами атомарных электронов: поглощая фотон лазерного излучения и спонтанно излучая затем фотон меньшей частоты, атом переходит из основного состояния в возбужденное с одновременным поворотом ядерного спина.

Первый успешный эксперимент по лазерной поляризации ядер натрия ( $^{23}\text{Na}$ ) провели специалисты Массачусетского технологического института и фирмы «Бэлл лабораториз» (США). Световой луч от лазера на красителе ( $\lambda=5896 \text{ \AA}$ ) направлялся на смесь паров натрия и инертного аргона; давление аргона составляло (0,2—2) Тор, а давление паров натрия было много меньше.

В результате столкновений близких по массе атомов аргона и натрия скорость атомов натрия менялась по величине и направлению, так что каждый атом достаточно долго находился в резонансе с лазерным излучением; этим и обеспечивалось участие в процессе поляризации всех атомов натрия.

Степень поляризации ядер натрия в эксперименте превысила 90%.

Physical Review Letters, 1981, v. 47, № 4, p. 236—239 (США).

Физика

## Двухфотонный лазер

Специалисты университета в Гейдельберге (ФРГ) создали новый вид лазера с перестраиваемой частотой генерации — так называемый двухфотонный лазер. Его действие основано на эффекте вынужденного двухфотонного излучения возбужденных атомов. Под воздействием внешнего излучения с частотой  $\omega_1 < \omega_0$  переход атома в основное состояние происходит не прямо, а двухступенчатым образом — через промежуточное (виртуальное) состояние. Одновременно излучается, помимо когерентного фотона с частотой  $\omega_1$ , также второй фотон с частотой  $\omega_2 = \omega_0 - \omega_1$  ( $\omega_0$  — частота прямого перехода между выделенными атомными уровнями).

В эксперименте наблюдалось стимулированное излучение на частоте  $\omega_2$  (невыврожденная генерация) и  $\omega_3 = \omega_1 = \omega_2 = \frac{1}{2}\omega_0$  (выврожденная генерация). Так как сумма  $\omega_1 + \omega_2 = \omega_0$  оставалась в условиях эксперимента постоянной, то плавная перестройка частоты  $\omega_2$  достигалась изменением частоты  $\omega_1$ , на которой работал один из лазе-

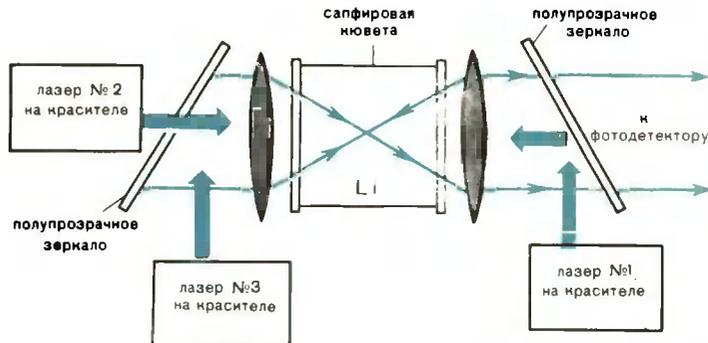


Схема двухфотонного лазера.

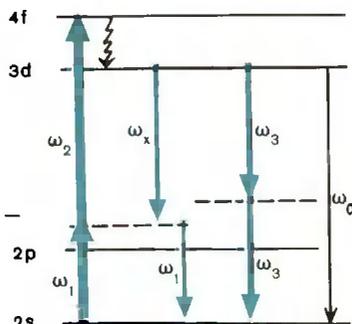


Схема излучательных переходов между уровнями в атоме лития.

- $\omega_0$  прямой переход между уровнями
- $\omega_1, \omega_2$  переходы накачки
- $\omega_x, \omega_1$  невырожденный двухфотонный лазерный переход
- $\omega_3$  вырожденный стимулированный двухфотонный переход
- виртуальный уровень

ров, обеспечивавших накачку активной среды.

Активной средой служили пары металла лития (Li), находившиеся в нагретой до  $750^\circ\text{C}$  сапфировой юввете. Инверсия заселенности начального (3d) и конечного (2s) уровней атома Li достигалась за счет индуцированного двухфотонного поглощения этими атомами света накачки от двух лазеров на красителе, работавших на частотах  $\omega_1 = 44\,900 \text{ ГГц}$  и  $\omega_2 = 65\,000 \text{ ГГц}$ , приводившихся в действие импульсами света от  $\text{N}_2$ -лазера.

Двухфотонная накачка шла через то же виртуальное состояние, что и двухфотонная генерация. Частота  $\omega_1$  соответствовала переходу из начального 2s- в виртуальное состояние, а частота  $\omega_2$  — переходу из виртуального в 4f-состояние атома Li. Поглотив оба фотона и оказавшись в 4f-состоянии, атомы Li затем очень быстро релаксировали в 3d-состояние, являвшееся начальным для последующего двухфотонного индуцированного излучательного перехода. (Для 3d-состояния импульс накачки на частоте  $\omega_1$  был «запускающим», стимулируя когерентное излучение на этой же частоте.) Одновременно с излучением на частоте  $\omega_1$  возникло также вынужденное излучение с частотой  $\omega_2$ , имевшее вид импульсов, мощность которых зависела от величины расстройки частоты  $\omega_1$  относительно начального состояния 2p.

Для получения вырожденной генерации на частоте  $\omega_3 = 46\,950 \text{ ГГц}$  сквозь активную среду пропускался зондирующий импульс от третьего лазера на красителе. Система работала как квантовый усилитель, причем при максимальной входной мощности 3 кВт коэффициент усиления доходил до 20%.

Physical Review Letters, 1981, v. 47, № 3, p. 171—173 (США).

Физика

## «Огни Эльма» в лаборатории

Более 20 веков известно загадочное атмосферное свечение в форме метелки или факела длиной от нескольких санти-

метров до 1 м — так называемые огни святого Эльма. Оно возникает иногда в ненастную погоду на остроконечных вершинах скал, шпилях башен, мачтах кораблей, гребнях волн в океане и даже на поднятых руках людей, когда они попадают в нижний отрицательно заряженный слой облаков. До последнего времени это свечение наблюдали только в природных условиях, но в 1976 г. его впервые обнаружили в лаборатории на предметах, помещенных в поток электрически заряженных капель воды<sup>1</sup>.

Б. Б. Войцеховский (Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО АН СССР, Новосибирск) исследовал природу свечения огней Эльма. С помощью разработанного автором генератора электрически заряженных капель воды было создано облако таких капель протяженностью более 3 м; средний размер капель составлял 50 мкм. Опыты проводили при давлении сжатого воздуха 2—7 атм и напряжении на электродах 10—20 кВ.

Были обнаружены две формы свечения: веерное и точечное. Первое возникало на водяных каплях, оседающих из заряженного облака на заземленные предметы. С вершины конусообразной водяной капли, находящейся на поверхности, начинался ярко светящийся канал длиной от 3 до 5 мм и диаметром менее 0,5 мм, переходящий в светящийся веер, длина которого достигала иногда 5—8 см, а объем свечения составлял 30—40 см<sup>3</sup>. В положительно заряженном облаке веерное свечение было намного слабее.

Точечное свечение наблюдалось на заостренных предметах — иглах, ворсинках, причем светились лишь небольшие области вблизи острия, а объем свечения не превышал 30 мм<sup>3</sup>. Когда же острие располагалось в центре облака, светящаяся область имела шаровую форму.

Точечное свечение возникало на большем расстоянии от облака, чем веерное; оно не изменялось при смене полярности

облака. Если в центр заряженного облака вносился предмет с многочисленными остриями, например шерстяная ткань, то точечное свечение наблюдалось сразу на многих ворсинках.

По мнению автора, огни Эльма и веерное свечение тождественны как по условиям возникновения, так по форме и цвету (голубовато-красному) свечения.

Доклады АН СССР, 1982, т. 262, № 1, с. 84—88.

Физика

Кулоновские «взрывы» микрокластеров

Большинство двукратно ионизованных молекул нестабильно из-за кулоновского расталкивания двух положительных зарядов — «дырок»: размеры молекул таковы, что кулоновская энергия превышает энергию их связи. Исключение составляют лишь некоторые ионы с сильной ковалентной связью, такие, например, как (HCl)<sup>2+</sup>, (HBr)<sup>2+</sup>, (HI)<sup>2+</sup>, (N<sub>2</sub>)<sup>2+</sup>, (O<sub>2</sub>)<sup>2+</sup>, (NO)<sup>2+</sup>, (CO)<sup>2+</sup>, (CO<sub>2</sub>)<sup>2+</sup>, (NH<sub>3</sub>)<sup>2+</sup>. Другие же молекулярные ионы с двойным положительным зарядом «взрываются», диссоциируя на отдельные атомы и молекулярные ионы с меньшим зарядом и молекулярным весом.

Недавно специалисты из университета в Констанце (ФРГ) обнаружили, что аналогичная ситуация имеет место и в случае микрокластеров — образований из нескольких десятков «слипшихся» между собой атомов или молекул. Были исследованы металлические кластеры из свинца — (Pb)<sub>n</sub>, кластеры из иодистого натрия (NaI)<sub>n</sub> с ионной связью и кластеры из инертного газа ксенона (Xe)<sub>n</sub> с ван-дер-ваальсовскими силами межатомного взаимодействия.

Под воздействием быстрых электронов кластеры дважды ионизовались, и положительный заряд быстро перераспределялся по их противоположным поверхностям. Если диаметр кластера оказывался меньше критического значения, т. е. если число атомов или молекул было меньше определенной критиче-

ской величины n\*, то происходил разрыв кластера. Значения n\* оказались равными 30, 20, 52 соответственно для свинца, иодистого натрия и ксенона. Наиболее сильно связанными были кластеры (NaI)<sub>n</sub>, а самыми «рыхлыми» — (Xe)<sub>n</sub>.

Нестабильность кластеров была обнаружена при анализе их масс в пролетном спектрометре, где масса кластера определялась по времени его пролета в сильном электрическом поле.

Анализ эксперимента позволил сделать вывод, что поверхностные атомы ксенона в кластере (Xe)<sub>n</sub> связаны с ним сильнее, чем в твердом теле или в молекуле Xe<sub>2</sub>. Это согласуется с имеющимися указаниями на то, что межатомные расстояния в кластерах меньше значений, характерных для кристаллов, и межатомные связи в них, по-видимому, значительно отличаются от межатомных связей в кристаллических телах.

Physical Review Letters, 1981, v. 47, № 3, p. 160—163 (США).

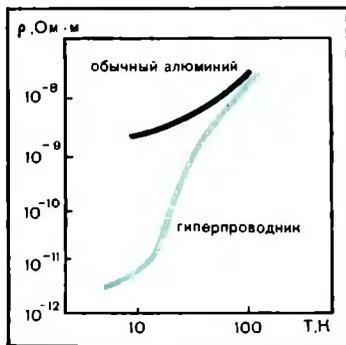
Техника

Гиперпроводники на основе сверхчистого алюминия

Во многих областях современной физики эксперимент невозможен без создания сильных магнитных полей. Наиболее экономичный способ получения таких полей — использование сверхпроводников, применение которых, однако, ограничивается рядом факторов: наличием критического поля, выше которого сверхпроводимость пропадает, относительно жесткими ограничениями на максимальную плотность тока, чувствительностью сверхпроводников к нейтронному облучению, высокой стоимостью сверхпроводящих материалов.

С другой стороны, для получения сильных магнитных полей можно использовать сверхчистые металлы, сопротивление которых, как известно, резко уменьшается при низких температурах. Однако им, особенно меди, свойственны высокое магнетосопротивление (т. е.

<sup>1</sup> Войцеховский Б. В., Войцеховский Б. Б.— Письма в ЖЭТФ, 1976, т. 23, № 1, с. 37.



Зависимость удельного сопротивления  $\rho$  от температуры для обычного и гиперпроводящего алюминия.

увеличение сопротивления в присутствии магнитного поля), низкая прочность и другие недостатки.

Недавно появилось сообщение, что советской промышленностью разработан и выпускается алюминий особой чистоты А999 ГОСТ 11069-74 (с чистотой 99,999%), электрическое сопротивление которого при температуре жидкого гелия уменьшается в 7000 раз.

Даже если учесть увеличение энергетических затрат на охлаждение (со снижением температуры), все равно использовать криогенный алюминий энергетически выгоднее, чем так называемые теплые проводники. Оптимальными являются температуры вблизи точки кипения водорода (20,3 К).

Магнитосопротивление алюминия относительно невелико, и его рост прекращается при полях более 5 Т. При температуре жидкого водорода в сильном магнитном поле сопротивление возрастает примерно в 5 раз. Прочность алюминия резко увеличивается с охлаждением и при водородных температурах приближается к прочности обычных проводников. Облучение быстрыми нейтронами, интегральный поток которых достигает  $10^{21}$  нейтрон/м<sup>2</sup>, совершенно не сказывается на сопротивлении алюминия, но при больших потоках сопротивление линейно растет ( $10^{-9}$  Ом · м при  $10^{22}$  нейтрон/м<sup>2</sup> и 18 К). Кратковременный отогрев алюминия до комнатной

температуры легко возвращает сопротивление к исходному значению.

Высокая теплопроводность алюминия при низких температурах позволяет получать в нем очень высокие плотности тока. Так, в тонкой проволоке диаметром 0,3 мм, погруженной в жидкий гелий, плотность тока доходила до  $2 \cdot 10^9$  А/м<sup>2</sup> без увеличения перепада температуры между проволокой и гелием. Окисная пленка на поверхности алюминия позволяет создать тонкую и очень прочную изоляцию, рассчитанную на напряжения в несколько сотен вольт, надежно работающую при низких температурах и интегральных потоках быстрых нейтронов до  $10^{24}$  нейтрон/м<sup>2</sup>.

Потребляя несколько больше энергии, чем сверхпроводники, гиперпроводящие системы на основе сверхчистого алюминия могут оказаться более дешевыми, простыми и надежными в работе.

Вопросы атомной науки и техники, серия «Термоядерный синтез», 1981, вып. 2, с. 33—44.

#### Медицина

### Тромбоциты и метастазы

При изучении причин образования метастазов исследователи обнаружили, что тромбоциты (один из видов клеток крови) могут соединяться с клетками, отщепляющимися от первичной опухоли, и образовывать смешанный тромбоцито-опухолевый конгломерат. Такой конгломерат «улавливается» затем клетками кровеносных сосудов, прикрепляется к ним, после чего опухолевые клетки прорастают сквозь стенки сосуда и образуют вторичную опухоль.

Группа исследователей из Лаборатории сбора крови Красного креста (Бетезда, США) изучала способности тромбоцитов к агрегации с различными опухолевыми клетками. Тромбоциты выделяли из крови 16 здоровых доноров. Испытывались опухолевые клетки глиобластомы, карциномы легких, аденокарциномы, мезотелиомы и нейробластомы. Все эти линии

опухолевых клеток были получены от людей и культивировались в стандартных условиях.

Наибольшую способность к агрегации проявили клетки глиобластомы: они агрегировали тромбоциты всех 16 доноров. Клетки карциномы легких, аденокарциномы, мезотелиомы и нейробластомы агрегировали соответственно тромбоциты 10, 8, 7 и 7 из 16 доноров. Важно отметить, что 4 из 6 доноров, тромбоциты которых не образовали конгломератов с клетками карциномы легких, не создали конгломераты и с последующими опухолевыми клетками других линий. Тромбоциты 8 доноров, не соединившиеся с клетками аденокарциномы, не создавали конгломератов и с клетками мезотелиомы и глиобластомы. К этой группе относится большинство доноров, тромбоциты которых хоть и дали агрегацию с клетками глиобластомы, но наступала она значительно позднее, чем у клеток тех доноров, для которых характерна агрегация с другими видами опухолей.

Эксперименты свидетельствуют о неодинаковой способности тромбоцитов разных людей к агрегации с опухолевыми клетками, что возможно, объясняет, почему некоторые типы опухолей у одних людей дают метастазы, а у других — нет. Полученные результаты могут иметь и более широкое применение: в эпидемиологии и генетике при неопластических заболеваниях людей.

Nature, 1981, v. 291, No 5817, p. 661—662 (Великобритания).

#### Медицина

### Борьба с туберкулезом на клеточном уровне

При заболевании туберкулезом в организме человека или животных происходит иммунологическая перестройка, направленная на борьбу с возбудителем. Механизм этого явления до сих пор не понят. В частности, не известно, какую роль играют макрофаги — клет-

ки иммунной системы, участвующие в фагоцитозе.

Л. Уолкер и Д. Лоури (Лаборатория по изучению туберкулеза Королевской медицинской школы Лондона, Англия) внесли некоторую ясность в этот вопрос. В опытах *in vitro* с *Mycobacterium microti* — природным возбудителем туберкулеза у мышей — они установили, что макрофаги способны убивать бактерии туберкулеза, но, чтобы они это сделали, их необходимо соответствующим образом стимулировать. Было показано, что такая стимуляция осуществляется специальными веществами — лимфокинами, которые выделяются во внешнюю среду Т-лимфоцитами мышей в ответ на введение им бактерий туберкулеза. «Убийство» макрофаги осуществляют главным образом с помощью содержащейся в этих клетках перекиси водорода.

Nature, 1981, v. 293, p. 69—71 (Великобритания).



Биология

## Рождение детеныша оставляет след в зубах дельфина

В рамках советско-американского проекта «Морские млекопитающие», осуществляемого по межправительственному соглашению о сотрудничестве в области охраны окружающей среды<sup>1</sup>, в январе 1982 г. сотрудники Института биологии развития им. Н. К. Кольцова АН СССР и Юго-Западного центра рыбохозяйственных исследований США проводили дополнительное исследование структуры годовых слоев в зубах у дельфинов.

Годовой слой дентина состоит из полос разной оптиче-

ской плотности, что связано, по-видимому, с разным содержанием минеральных веществ. С тех пор как годовые слои в зубах морских млекопитающих стали широко использоваться для определения возраста животных, исследователи неоднократно пытались найти связь особенностей внутренней структуры годовых слоев с периодами голода и активного питания, миграций, линьки, размножения. Однако до сих пор прямых доказательств существования такой связи получить не удалось.

В проводимых исследованиях нам представлялось, в частности, крайне заманчивым найти те особые полосы, структура которых определяется большими физиологическими нагрузками на организм во время беременности, родов, лактации. С этой целью мы изучали окрашенные гематоксилином срезы зубов пятнистого дельфина (*Stenella attenuata*). В годовых слоях дентина у 98% взрослых самок были обнаружены интенсивно окрашенные линии (или метки), придающие слоистости дентина неравномерный характер. Чтобы выяснить, связаны ли эти метки с размножением, были взяты самки в возрасте 11—17 лет, относительно которых было известно число прошедших у них овуляций и беременностей (по рубцам на яичниках) и наличие беременности или лактации в момент гибели. Общее число меток и положение метки в двух последних годовых слоях дентина определялось независимо двумя исследователями «слепую», т. е. без знания ими биологических данных особи. Затем число меток сопоставлялось с числом рубцов желтых тел, с наличием лактации, с присутствием эмбриона и т. д. Оказалось, что метки в дентине нельзя связать ни с овуляцией, ни с беременностью как таковой, но можно связать с родами и (или) началом лактации.

Еще одно подтверждение того, что метка в дентине действительно связана с родами или началом лактации, было получено на материале от дельфина из океанариума. Самка вертящегося дельфина (*S. longirostris*) родила детеныша в океанариуме вскоре после поимки и прожила

в неволе 4 года. До и после родов она получала в порядке профилактики тетрациклин, который известен не только как антибиотик, но и как надежный маркер растущих частей скелета и зубов. В дентине зубов этой самки была обнаружена метка, расположенная как раз между двумя слоями с тетрациклином, т. е. сформированная в период родов — начала лактации.

Таким образом, полученные результаты — первые надежные доказательства того, что в дентине зубов дельфинов есть особые метки, связанные с родами и (или) началом лактации. С одной стороны, это открывает новые перспективы изучения биологии размножения зубатых китообразных на основании уже имеющегося огромного коллекционного материала по зубам. С другой стороны, теперь становится возможным изучать биологию размножения дельфинов без уничтожения животных в природе — только на основании исследования зуба, взятого с обезболиванием у живой особи. Для того чтобы реализовать эти перспективы, необходимо, во-первых, научиться надежно отличать метку, связанную с родами, от других полос дентина, а во-вторых, исследовать другие виды зубатых китообразных (а также иных млекопитающих) на предмет существования таких же меток, связанных с размножением.

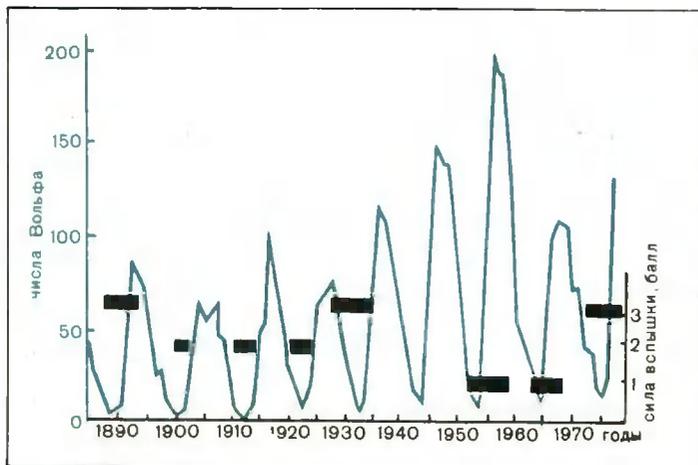
Г. А. Клевезаль,  
кандидат биологических наук  
Москва  
Доктор А. Майрик  
Ла-Холья (Калифорния, США).

Биология

## Солнечная активность и размножение лугового мотылька

И. Б. Кнор и Б. Я. Рябко (Биологический институт СО АН СССР), используя архивные материалы, литературные данные и результаты собственных наблюдений, охватывающие период с конца 80-х годов XIX в. до 70-х годов нашего столетия, сопоставили данные о вспышках размножения лугового мотылька

<sup>1</sup> См. также: Новый метод исследования китообразных. — Природа, 1980, № 3, с. 115; Советско-американские исследования китообразных в Тихом океане. — Природа, 1981, № 2, с. 116.



Зависимость вспышек массового размножения лугового мотылька от солнечной активности (за 40-е годы данные нет).

ка в Сибири с изменением солнечной активности, измеренной в числе Вольфа<sup>1</sup>.

За указанный период на территории Сибири действовали очаги девяти вспышек этого вредителя сельскохозяйственных культур. Очаги отличались по территориальному охвату, продолжительности, причинному экономическому ущербу и другим характеристикам. Сила вспышек была условно выражена в баллах. Самым высоким баллом (3) оценены три вспышки: конца 80-х — начала 90-х годов XIX в.; конца 20 — начала 30-х годов XX в. и вспышка, начавшаяся в Сибири в середине 70-х годов. Три вспышки — начало первого, второго и третьего десятилетий текущего столетия — оценены в 2 балла (действующие очаги вредящей фазы насекомого, гусениц регистрировались в лесостепной и степной зонах только на западе и в центре Сибири). В 1 балл оценивалась группа вспышек, для которых характерны лишь территориально разобнесенные очаги, охватывающие небольшую пло-

щадь с относительно низкой численностью гусениц, которые практически не угрожали посевам.

Анализ данных о вспышках массового размножения лугового мотылька в Сибири позволяет установить довольно строгую их цикличность: вспышки регистрировались в каждом 11-летнем солнечном цикле и были приурочены к периоду «спокойного Солнца». Статистический расчет также подтверждает предположение о влиянии солнечной активности на численность лугового мотылька.

По мнению авторов, полученные результаты можно использовать для долгосрочного прогноза массовых размножений этого вредителя в Сибири: до конца века возможны вспышки его численности в 1984—1989 и 1995—2000 гг.

Известия Сибирского отделения АН СССР, серия биологическая, 1981, № 5, вып. 1, с. 113—116.

#### Микробиология

### Коллекция светящихся бактерий

В Институте физики им. Л. В. Киренского СО АН СССР (Красноярск) собрана единственная в нашей стране и самая многочисленная коллекция морских свободноживущих светящихся бактерий<sup>1</sup>. Недавно сотрудники института Т. И. Воробьева и С. Е. Медведева за-

вершили определение видовой принадлежности 83 штаммов светящихся бактерий, выделенных из различных горизонтов экваториальных вод Тихого океана и прибрежных вод Японского и Охотского морей.

Для получения чистых культур светящихся бактерий применяли специальную фильтровальную установку. Осажденные на мембранных ультрафильтрах бактерии затем проращивали в чашках Петри на плотной питательной среде, приготовленной на вытяжке кальмара с определенными добавками (NaCl, сухой питательный агар и др.). После инкубации в течение 24—28 часов при температуре 25—28° выросшие колонии проверяли на свечение. Светящиеся колонии пересевали в пробирки. С появлением в пробирках заметного роста и свечения культур их в условиях экспедиции (на судне «Витязь») помещали в холодильник при 6—8°С. Пересев таких культур осуществляли два раза в месяц.

Идентификация светящихся бактерий — довольно трудоемкое дело. Благодаря комплексным исследованиям, в том числе морфологического, физиолого-биохимических (определение нуклеотидного состава ДНК, оптимальных условий роста и свечения) и др., авторы установили, что в коллекции представлены практически все известные в настоящее время виды морских свободноживущих светящихся бактерий, а именно: *Photobacterium fischeri* (*Vibrio fischeri*), *Ph. leiognathi* (*Ph. mandapamensis*), *Ph. phosphoreum*,

<sup>1</sup> Светящиеся бактерии (или фотобактерии) — свободноживущие или симбиотические микроорганизмы в основном палочковидной формы с одним или несколькими (иногда в виде пучка) жгутиками. Они обладают специфической функцией — внутриклеточной люминесценцией. В основе свечения лежит реакция окисления флавинмононуклеотида при участии фермента люциферазы. Реакция сопровождается излучением квантов видимого (голубовато-зеленого) света. Подробнее см.: Чумакова Р. И., Тителъзон И. И. Светящиеся бактерии. М., 1975.

*Ph. belozerskii*, *Benecke harveyi* (*Lucibacterium harveyi*).

Коллекционные культуры хранятся под вазелиновым маслом. Такой способ консервации, разработанный в Институте физики СО АН СССР, является в данном случае более надежным, чем лиофилизация (хранение высушенными): яркость свечения бактерий, высеванных после хранения под вазелиновым маслом, не уменьшается, а у хранящихся в лиофилизированном состоянии убывает пропорционально времени хранения. Культуры, хранящиеся под вазелиновым маслом, могут быть воспроизведены и размножены в любое время, будучи помещены на соответствующую питательную смесь.

Светящиеся бактерии из коллекции Института физики СО АН СССР используются для научных и прикладных исследований в других научных учреждениях страны.

Известия СО АН СССР, серия биологических наук, 1981, вып. 1, № 5, с. 69—75.

#### Физиология

### Гуморальная регуляция парадоксальной фазы сна

Впервые прямое экспериментальное подтверждение наличия гуморальной регуляции парадоксальной («быстрой») фазы сна получено одним из ведущих специалистов по изучению сна М. Жуве (Лионский университет, Франция).

Группу кошек-доноров помещали на 17 часов на маленькие площадки, окруженные водой (известно, что пребывание на таких площадках сопровождается резким снижением парадоксального сна, а также сокращением медленноволнового сна и сильным стрессом). Затем у этих животных забирали нем-

ного спинномозговой жидкости через заранее вживленную в подзатылочную область мозга канюлю. Другой группе кошек — реципиентов — вводили внутривенно параклорфенилаланин, который, блокируя синтез серотонина в мозге, вызывает полную бессонницу. На фоне такой фармакологической вызванной бессонницы кошкам-реципиентам вводили в четвертый желудочек мозга через канюлю 250 мкл спинномозговой жидкости, взятой от кошек-доноров. В результате у кошек-реципиентов медленноволновой и особенно парадоксальный сон восстанавливался; эффект длился несколько часов.

Объясняя эти экспериментальные данные, автор предполагает, что у кошек-доноров из-за невозможности уснуть во время пребывания на площадках накапливались гипотетические «факторы сна». Эти животные «хотели спать, но не могли», так как во сне сваливались в воду. Кошки-реципиенты, у которых образование «факторов сна» было нарушено из-за введения параклорфенилаланина, наоборот, «могли спать, но не хотели»; введение им в этих условиях спинномозговой жидкости от доноров позволяло, как бы в обход действия параклорфенилаланина, перенести «факторы сна» непосредственно в мозг.

Выяснение химической природы «факторов сна» — задача дальнейших исследований.

Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences, 1981, serie III, t. 292, № 1, p. 113—117 (Франция).

#### Почвоведение

### Бактериостатичность почв Новосибирской области

В. П. Ходырев (Биологический институт СО АН СССР, Новосибирск) изучал бактериостатическое действие наиболее распространенных в Новосибирской области типов почв (серой лесной, темно-серой лесной,

чернозема выщелоченного, чернозема оподзоленного и аллювиально-луговой) по отношению к *Bacillus thuringiensis* var. *galleriae*. Этот энтомопатогенный микроорганизм поражает гусениц капустной белянки и капустной совки — вредителей овощных культур. На основе отдельных штаммов энтомопатогенных бактерий производится энтобактерин, используемый для искусственного заражения названных вредителей. Однако эффективность воздействия таких бактерий в значительной степени зависит от способности их спор к прорастанию и последующему размножению на тех почвах, где выращиваются овощные культуры.

Образцы почв отбирались с глубины пахотного и нижележащего, генетического, горизонтов в различное время года. Бактериостатичность определялась методом диффузии. После проникновения веществ из образцов почвы в агаровые блоки с питательной средой туда же вносили суспензию со спорами бактерий; через определенное время подсчитывали число проросших и непроросших спор. Определяли также pH почвы и содержание в них гумуса.

Установлено, что все исследованные почвы обладают сильным бактериостатическим действием. Наиболее высокая бактериостатичность в весенне-летний период (в апреле — июне прорастания спор вообще не отмечалось; только на черноземе оподзоленном число проросших спор составило около 0,4%); на контрольных блоках с чистой питательной средой прорастание спор достигало 94%. Такая высокая бактериостатичность частично обусловлена биогенными факторами — выделениями растений. Так, в отдельных экспериментах установ-

<sup>1</sup> Бактериостатическое действие (или бактериостатичность) — это антимикробная активность, проявляемая как абиотическими факторами внешней среды (почва, вода и др.), так и различными живыми микроорганизмами; выражается в задержке прорастания спор бактерий, но не приводит к их гибели.

<sup>1</sup> Гуморальная регуляция осуществляется через жидкие среды организма (в данном случае — через спинномозговую жидкость и мозжечковую среду) с помощью биологически активных веществ.

лено, что выделения корней у ранней капусты и огурцов полностью предотвращают прорастание спор бактерий, а выделения корней кормовой свеклы не оказывают заметного влияния.

В осенне-зимний период бактериостатичность почва существенно снижалась. Наибольшее число проросших спор наблюдалось в пробах почва, отобранных в феврале.

Не выявлено зависимости между степенью бактериостатичности и рН или содержанием гумуса в почвах. Бактериостатичность существенно снижалась при прогревании почва до 180°С; число прорастающих спор увеличивалось при этом до 15—20%. Последнее указывает на то, что бактериостатическое действие почва в большой степени зависит от факторов абиогенного характера, возможно, от наличия окислов и других соединений с металлами.

Таким образом, почвы Новосибирской области неблагоприятны для развития *Bacillus thuringiensis* вследствие высокой степени бактериостатичности, которая обусловлена их физико-химическими свойствами и метаболитами растений. Чтобы обеспечить приживаемость бактерий на данных почвах, необ-

ходимо определить факторы, снижающие бактериостатичность, или изыскивать пути создания искусственных очагов для размножения этих энтомопатогенных микроорганизмов.

Известия Сибирского отделения АН СССР, серия биологических наук, 1981, вып. 3, № 15, с. 37—40.

#### Геология

### Рейс 785 «Гломара Челленджера»

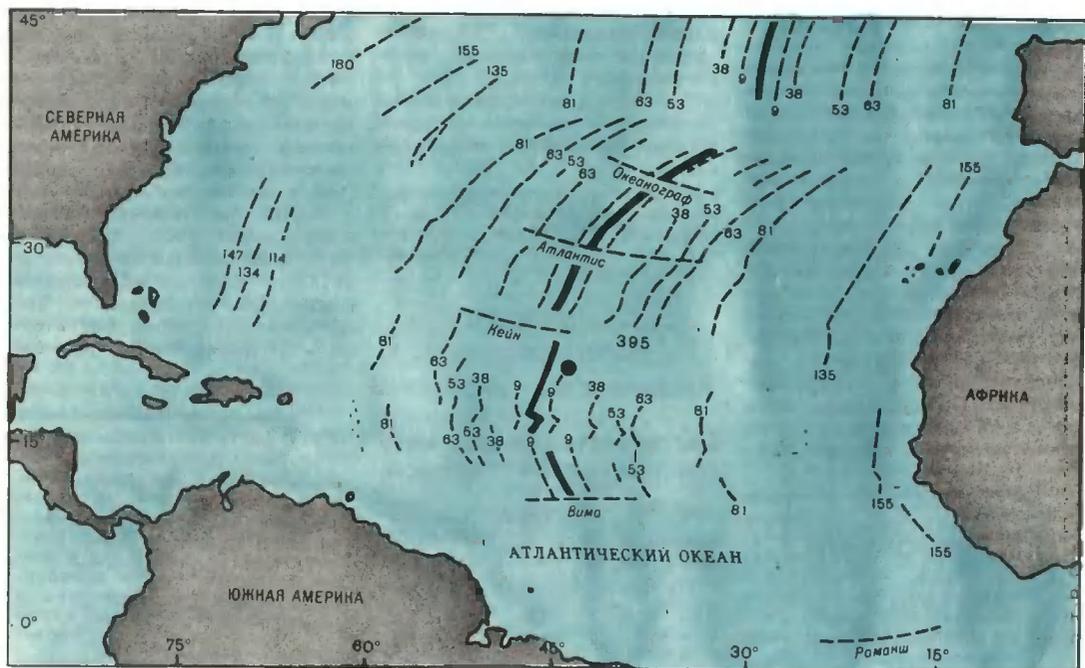
В рейсе 785 «Гломара Челленджера», который начался 14 марта 1981 г. в Сан-Хуане (Пуэрто-Рико) и завершился в Лас-Пальмесе (Канарские о-ва) 9 апреля того же года, исследовалось строение океанической коры с использованием обширного комплекса скважинных (каротажных) геофизических методов<sup>1</sup>. В рейсе работал между-

народный научный коллектив из Великобритании, Канады, СССР, США, Франции и ФРГ. Руководили экспедицией Г. Салисбери (Проект глубоководного бурения, США) и Р. Хидман (Тихоокеанский центр наук о Земле, Канада). Для исследований была выбрана скважина 395А, пробуренная в 1976 г. в 45-м рейсе судна, вблизи осевой зоны Срединно-Атлантического хребта на Африканской плите. Глубина скважины составляла 649 м, из них ниже 580 м были пройдены сквозь молодые базальты второго слоя океанической коры, поверх которых залежали осадочные породы. Возраст дна океана в районе этой скважины 9 млн лет.

Несмотря на прошедшие с момента бурения скважины

Положение скважины 395А, в которой проводились каротажные исследования. Сплошной жирной линией показана рифтовая зона Срединно-Атлантического хребта, прересеченная разломами [основные из них обозначены на карте]; пунктирными линиями и цифрами отмечен возраст дна Атлантического океана (млн лет).

<sup>1</sup> JOIDES Journal, 1981, v. VII, № 2, p. 21. О задачах 78-го рейса см. также: Природа, 1982, № 6, с. 65.



5 лет, она оказалась полностью пригодной для любых дальнейших экспериментов, связанных с постановкой временных или постоянных донных приборов. Скважина была легко обнаружена с борта «Гломара Челленджера» благодаря системе спутниковой навигации и детальным батиметрическим картам.

В ходе рейса получены существенные данные о строении океанической коры. В частности, изучались гидрологические условия в ее верхних 600 метрах: необходимо было выяснить, проницаема ли кора для океанической воды и осуществляется ли в ней циркуляция вод. С решением этого вопроса связывается важная проблема постмагматических преобразований в коре: ее серпентинизация (т. е. замещение первичных безводных силикатов — оливина и пироксенов, основных породообразующих минералов океанической коры, водным силикатом магния — серпентином), «старение» магнитных минералов — носителей сведений о возрасте дна и др.

Исследования проницаемости коры в ходе специального эксперимента, когда в скважине мощный импульсом создавалось высокое давление воды, показали, что только у основания скважины ее стенки практически непроницаемы для циркуляции воды (величина проницаемости всего лишь  $2,6—8,6 \cdot 10^{-6}$  дарси), тогда как выше — примерно в 500 верхних метрах базальтов — вода может циркулировать более свободно.

Породы океанической коры нагреты в скважине на глубине 600 м от уровня дна до  $22^\circ\text{C}$ . Предварительно температура в забое вычислялась двумя способами: по тепловому потоку, замеренному на поверхности дна, а также исходя из термодинамической модели раздвижения плит. Температура, измеренная в скважине, оказалась средней между двумя рассчитанными величинами. Это тоже показывает, что океаническая кора проницаема для циркуляции воды: тепло из глубин Земли к ее поверхности передается не только кондуктивным, но и конвективным путем, при этом оно частично рас-

сеивается. Сведения о высокой проницаемости базальтового слоя океанической коры для циркуляции морской воды явились важным результатом рейса 78Б.

Сейсмический и магнитный каротаж позволил уточнить сведения о строении коры. Подтверждены данные о том, что в слое подушечных лав на глубине 173—194 м залегают массивные базальты. Плотность подушечных лав — от 2,4 до 2,7 г/см<sup>3</sup>, а скорость прохождения сейсмических волн в них весьма различна (наибольшая — 5,4 км/с). Плотность массивных базальтов — 2,8 г/см<sup>3</sup>. Очень высоко и их удельное электрическое сопротивление — 200—300 Ом·м, тогда как удельное электрическое сопротивление подушечных лав не более 70 Ом·м.

С помощью магнитного каротажа, выполненного советскими геофизиками В. Н. Пономаревым и В. Л. Мехорощковым, удалось установить, что в разрезе коры непосредственно над массивными базальтами и под ними (на глубине 167—173 и 194—202 м) залегают серпентинитовая брекчия. В 45-м рейсе «Гломара Челленджера» был обнаружен только один из этих горизонтов — верхний.

Исследования вертикальной компоненты геомагнитного поля в скважине выявили на двух уровнях (255 и 560 м) его обращения; участники рейса предполагают, что в то время, когда эти базальты изливались на древнее дно океана, северный и южный геомагнитные полюса дважды быстро менялись местами.

**А. Е. Сузюмов,**  
кандидат  
геолого-минералогических  
наук  
Москва

Геология

## Кимберлитовые трубки образуются без взрыва!

Традиционно образование кимберлитовых (алмазоносных) трубок рассматривается

как результат одного или серии взрывов. Но при этом остаются неясными причины таких взрывов и состав участвующих в них газов. В зарубежной литературе общепринята гипотеза «флюидизации», согласно которой кимберлиты — это мобильная агрессивная газонасыщенная магма. Эта гипотеза, однако, не может удовлетворительно объяснить механизм разрушения вмещающих кимберлитовые трубки молниеносных горных пород. Оспаривая эти и другие теории, С. И. Костровицкий и К. Н. Егоров (Институт земной коры СО АН СССР, Иркутск), обратили внимание на некоторые особенности морфологии кимберлитовых каналов, весьма важные для понимания их происхождения.

Обычно кимберлитовые трубки сравнивают с конусами, обращенными вершиной вниз. Однако с глубиной, как правило, сечения трубок все более линейно вытягиваются и в конце концов вырождаются в трещину или серию каналов. Борта трубки представляют собой угловатые сопряжения плоскостей по системе трещин или криволинейных поверхностей, нередко обращенных выпуклостью внутрь.

Распределение в таком канале обломочного материала по размеру и типу свидетельствует, по мнению авторов, о том, что этот материал в основном дробился на месте и трубчатой полости как таковой не существовало. Установлено также, что начальные фазы внедрения были газово-жидкими или жидкими, но не газообразными (еще одно возражение газозврывной гипотезе).

В качестве альтернативы существующим концепциям авторы предлагают механизм так называемого флюидного брекчирования. Это означает, что трубчатый канал развивается из трещинного. Главный фактор такого процесса — кимберлитовый флюид, который дробит, используя трещиноватость, и химически преобразует вмещающие его породы, нагнетаясь в уже существующую систему трещин. Конусовидная форма трубки обусловлена обрушением неустойчивых бортов канала.

## Сейсмология

**Радоновые предвестники землетрясений**

Известно, что одним из предвестников землетрясений бывает резкое повышение или, наоборот, понижение содержания радона в подземных водах или подпочвенных газах. Изменение концентраций радона в сейсмоопасных областях ведется в СССР, США, Японии и Китае, однако на основании этих наблюдений определенных количественных критериев по прогнозу землетрясений пока еще не выработано.

С. И. Зубков (Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР) обобщил имеющиеся сведения о концентрациях радона и связи радоновых предвестников с землетрясениями различной силы. Исследовались два параметра радоновых аномалий: их величина и длительность (т. е. время от изменения концентрации радона по сравнению с фоном до сейсмического толчка).

Повышение концентрации радона в подземных водах или подпочвенных газах происходит, видимо, в результате образования и роста трещин перед землетрясением, что приводит к нарушению кристаллической решетки минералов, содержащих радиоактивные элементы, в том числе и радон. Тепловые эффекты в районе будущего очага землетрясения нарушают термодинамическое равновесие, что способствует активному выделению газов из горных пород и изменению газожидкостных потоков. Поступлению радона в подземные воды способствует его химическая инертность и высокие диффузионные свойства.

Отрицательные радоновые аномалии возникают, по представлениям автора, в связи с уменьшением свободной поверхности горных пород при закрытии трещин в ходе подготовки очага землетрясения, в результате поглощения радона горными породами при повышении давления и т. д.

Таким образом, радоновые аномалии вызываются физико-механическими процесса-

ми, приводящими к возникновению землетрясений: изменением напряженно-деформированного состояния горных пород и степенью их разрушения.

Автор выделяет два типа предвестниковых радоновых аномалий: краткосрочные (возникающие за 1—10 суток до землетрясения) и долгосрочные (за 20—30 суток или даже несколько месяцев). По форме аномалии разделены на скачкообразные и плавные.

Используя специально разработанную им методику анализа радоновых аномалий, автор установил, что между характеристиками радонового предвестника и энергией готовящегося землетрясения существует тесная связь. При достаточных пространственно-временных рядах наблюдений выявленные зависимости можно использовать для определения энергии и времени возникновения будущего землетрясения. В частности, для разрушительных землетрясений длительность предвестника составляет несколько месяцев, радоновая аномалия появляется в подземных водах на удалении в несколько сот километров от будущего эпицентра. Разломы земной коры могут, как оказалось, сильно увеличить длительность и величину радоновой аномалии, а также зону ее проявления. Эти обстоятельства делают использование радоновых предвестников землетрясений чрезвычайно перспективными для прогноза сейсмической опасности.

Вулканология и сейсмология, 1981, № 6, с. 74—105.



Охрана природы

**Состояние рек в Великобритании**

Национальный совет Великобритании по водным проблемам опубликовал отчет о состоянии рек страны на конец 1981 г.

Двадцать лет назад было установлено, что реки и эстуарии (устья) на протяжении 1034 км

их течения следует отнести к категории «весьма существенно загрязненных», а еще 2220 км — к категории «находящихся в плохом состоянии». Принятые меры по очистке и охране вод позволили к 1970 г. сократить протяженность рек, отнесенных к первой категории, вдвое. Однако затем из-за общего неблагоприятного финансового положения расходы на обработку бытовых и промышленных отходов, поступающих в реки, были сокращены примерно на 50%. Недостаток средств, устаревание канализационных систем, сложность обработки новых видов промышленных отходов вновь увеличили протяженность рек, отнесенных к категории «весьма существенно загрязненных».

Новым отрицательным фактором является усилившееся загрязнение рек в результате сельскохозяйственной деятельности, особенно существенное в западных и северо-западных графствах, включая известный своей красотой заповедный Озерный край. Случайный или преднамеренный сброс в реку силосной массы, отходов, возникающих при дезинсекционной обработке скота, может привести к гибели всех организмов на несколько километров вниз по течению. Еще большую угрозу представляет сток удобрений с пахотных земель: 1300 км протяженности рек, ранее считавшихся чистыми, ныне из-за этого отнесены к находящимся в «сомнительном» состоянии.

Органы водоохраны Великобритании впрямь до улучшения общей экономической ситуации в стране решили отказаться от попыток улучшить состояние рек, ограничившись поддержанием их на нынешнем уровне. New Scientist, 1981, v. 92, № 1264, p. 789 (Великобритания).

## Александр Васильевич Сидоренко

Советская наука понесла тяжелую утрату. 23 марта 1982 г. на 65 году жизни в результате автомобильной катастрофы скончался выдающийся советский ученый и организатор науки, вице-президент Академии наук СССР, директор Института литосферы АН СССР, депутат Верховного Совета СССР, лауреат Ленинской премии, академик Александр Васильевич Сидоренко.

А. В. Сидоренко родился 6 (19) октября 1917 г. в селе Новониколаевка ныне Ворошиловградской области в семье крестьянина. Окончив рабфак, а затем геологический факультет Воронежского государственного университета, приступил к научной работе, которую прервала Великая Отечественная война. После тяжелого ранения на фронте в 1943 г. работал в Туркменском филиале АН СССР, где занимался проблемами геологии и геоморфологии пустынь.

С 1950 г. научная деятельность А. В. Сидоренко связана с развитием Кольского филиала АН СССР, председателем которого он был в течение 10 лет. За крупные достижения в геологии в 1953 г. был избран членом-корреспондентом и в 1966 г. — действительным членом АН СССР.

С 1962 по 1975 г., находясь на посту министра геологии и охраны недр СССР, председателя Государственного геологического комитета СССР, а затем министра геологии СССР, А. В. Сидоренко активно участвовал в мероприятиях по расширению минерально-сырьевой базы, в разведке и подготовке к промышленному освоению нефтяных, газовых и рудных месторождений в ряде районов страны, в усовершенствовании сети научно-исследовательских учреждений Министерства геологии СССР.



А. В. Сидоренко был основателем нового направления в геологии — осадочной геологии докембрия. В своих фундаментальных работах он доказал, что в докембрийских отложениях широко распространено органическое вещество. Это подтвердило и развило представления В. И. Вернадского о существовании жизни на самых ранних этапах развития земной коры. А. В. Сидоренко разработал также концепцию единства эволюционных процессов развития Земли начиная с раннего докембрия. Им была создана научная школа, разрабатывающая проблемы геохимии и литологии осадочно-метаморфических толщ раннего докембрия.

В 1975 г. А. В. Сидоренко был избран вице-президентом и председателем секции наук о Земле Академии наук СССР. На этих постах он уделял много внимания развитию науки и усилению ее связи с производством, решению проблем охраны природной среды, ис-

следованию Земли космическими средствами. В последние годы А. В. Сидоренко продолжал исследования геологии докембрия. В 1981 г. за цикл работ по геохимии и биогеохимии ему была присуждена Золотая медаль им. В. И. Вернадского АН СССР.

О международном признании плодотворной деятельности А. В. Сидоренко свидетельствует его избрание иностранным членом ряда зарубежных академий наук и научных обществ.

Родина высоко оценила заслуги А. В. Сидоренко. Он был награжден тремя орденами Ленина, орденами Трудового Красного Знамени, Красной Звезды и медалями.

А. В. Сидоренко был на редкость цельным и сильным духом человеком, в котором органически сочетались огромная целеустремленность и широчайший круг интересов, замечательная работоспособность и способность увлекаться новыми идеями, умение зажигать ими других. За советом и помощью к Александру Васильевичу можно было обратиться в любое время, несмотря на всю его занятость.

А. В. Сидоренко был редактором многих изданий, создателем и главным редактором журнала «Исследование Земли из космоса». Он много и плодотворно занимался популяризацией науки. Долгие годы Александр Васильевич был связан с нашим журналом. Он не только был постоянным читателем «Природы», но неоднократно сам выступал в ней со статьями по широкому и важным проблемам науки, а также действовал нашей практической работе.

Светлая память об Александре Васильевиче Сидоренко навсегда сохранится в наших сердцах.

Редакционная коллегия

## Сложность кажущейся простоты

В. А. Чуянов,  
доктор физико-математических наук

Москва



Б. Б. Кадомцев, В. И. Рыдник. ВОЛНЫ ВОКРУГ НАС. М.: Знание, 1981, 150 с.

Эта небольшая книга в яркой обложке сразу же привлекает к себе внимание и не залеживается на прилавках магазинов. Однако покупателя, рассчитывающего на легкое развлекательное чтение, за яркой обложкой ждут большие неожиданности, так как «Волны вокруг нас» — это, если можно так выразиться, популярная книжка «наоборот». Ее цель — не объяснение сложного на примере простого, а раскрытие сложности, которая таится в кажущейся простоте ежедневно наблюдаемых явлений,

раскрытие внутреннего единства различных волновых процессов — от волн на воде до звездных волн в галактиках, от бора на реке до пробок на транспортных магистралях, от химических волн до распространения сигналов по нервам и образования единого ритма сокращения различных участков сердечной мышцы.

Самые простые на первый взгляд явления, если приглядеться к ним, таят в себе массу неожиданностей. Откуда берется сетка морщинок на гладкой поверхности весеннего ручейка и как она связана с Красным пятном на Юпитере? Каким образом равномерно дующий ветер создает периодические волны? Что определяет максимальную высоту волн при тайфуне и цунами? Почему в море, вдали от берега, волны, создаваемые носом движущегося корабля, расходятся всегда под одним и тем же углом, независимо от скорости корабля, а на реке это не так? Если все это вас интересует и вы не побойтесь последовать за иногда довольно сложными рассуждениями авторов, прочитайте эту книгу. Авторы ее доказали, что такого рода научно-популярная, хотя и не простая для чтения, литература имеет полное право на существование и может быть не только интересной для некоторых, но действительно «доступной» широкому кругу читателей. В это утверждение, сделанное в редакционной аннотации, следует, наверное, внести лишь одну поправку — для широкого круга любознательных читателей, так как, хотя авторы и не предполагают у читателя знаний, выходящих за рамки школьных курсов физики и математики, логические построения, используемые в книге, достаточно сложны, а круг описываемых физических идей удивительно обширен, так что без серьезной работы полностью понять содержание этой книги невоз-

можно. Впрочем, авторам удалось добиться удивительной и крайне желательной для такого сорта литературы «многослойности» — читатели с разным уровнем подготовки могут найти в ней свой «слой», отвечающий их уровню знаний и интересов.

Основное содержание книги — это описание конкретных волновых явлений в природе, например, волн на так называемой «мелкой воде» — приливов, сейшей, тягунов, цунами. Читатель, не знакомый детально с этими явлениями, найдет здесь массу интереснейших и неожиданных фактов и получит первые представления о возможностях их количественного описания. Следует заметить, что в этой книге везде, где можно, рассмотрено до конкретных чисел, с тем чтобы показать читателю не только «скелет» физической идеи, но и дать возможность ощутить масштаб явления, соответствие между физической моделью и реальностью.

Другой класс рассматриваемых в книге явлений — это ветровые волны. Авторы подробно останавливаются на механизме их образования, динамике разгона и роста, образовании под действием ветра глубинных «внутренних» волн, возникающих на границах слоев воды разной плотности. Не все еще ясно в этой области. Картина рождения, развития и смерти волн сложна и не исследована до конца. В книге описаны различные подходы к этой проблеме.

Волны на воде позволяют проиллюстрировать самые разные стороны волновых процессов. Так, поведение волн вблизи препятствий, т. е. устойчивость и опрокидывание волн — боры, буруны, морской прибой, дает прекрасное наглядное введение в физику ударных волн. Волны, создаваемые кораблями, составляют предмет специального раздела книги, в котором подробно рассмотре-

но волновое сопротивление кораблей и связанные с ним эффекты, такие как «эффект лошади Хьюстона» (лошади, открывшей, что быстро тянуть баржу легче, чем медленно) и «эффект мертвой воды», — на первый взгляд, совершенно фантастическое явление застревания медленно движущихся судов в спокойной неподвижной воде, связанное с образованием внутренних волн.

Покончив с волнами на воде, авторы переходят к волнам на песке и снегу — несамостоятельным образованиям, отражающим волновые процессы в воде и атмосфере. Мне лично эта глава кажется наименее интересной. Впрочем, читатели, ближе знакомые с жизнью дюн и барханов, будут, возможно, иметь другое мнение.

«Странные» волны на песке понадобились авторам, по-видимому, для того чтобы как-то сгладить переход к совсем необычным волнам — волнам в транспортных потоках (автомобили — «молекулы» сплошной среды!), волнам плотности в галактиках, волнам горения, распространению нервных импульсов и т. д. Основная цель рассмотрения столь широкого круга волновых явлений — показать единство описания волновых процессов разной природы, показать, какую огромную роль играют эти процессы в развитии материи, как через них происходит ее самоорганизация и вопреки общему стремлению к тепловому равновесию — тепловой смерти — в локальных областях возникают высокоорганизованные, упорядоченные формы движения. Таким образом как бы перебирается мост между теорией волн и новой развивающейся наукой о самоорганизации материи и возникновении упорядоченных систем — синергетикой. Это, несомненно, самая интересная часть книги, но, к сожалению, и одна из самых коротких. При ее чтении возникает впечатление, что авторы несколько испугались масштаба поднятой темы и свернули ее рассмотрение на самом начальном уровне. Но, по-видимому, они правы. Эта проблема действительно заслуживает отдель-

ной книги, и читателям остается только надеяться, что авторы, столь хорошо зарекомендовавшие себя данным изданием, не заставят нас ждать слишком долго.

Оценивая книгу в целом, следует признать, что это несомненная удача, удача со всех точек зрения. Книга оригинальна по замыслу, высоконаучна в лучшем смысле этого слова, занимательна, написана хорошим языком, хорошо иллюстрирована и оформлена. Единственным недостатком, на мой взгляд, является плохая резкость некоторых из использованных в ней фотографий.

### Новое направление историко-научных исследований

**А. П. Огурцов,**  
кандидат философских наук  
Москва



**ПАМЯТНИКИ НАУКИ И ТЕХНИКИ. 1981.** Председатель редакционной коллегии А. С. Федоров. Отв. ред. Л. Е. Майстров. М.: Наука, 215 с.

До последнего времени памятники науки и техники не привлекали к себе должного внимания. Это объясняется рядом причин. Немалую роль здесь сыграла и филологическая ориентация в историческом знании, при которой акцент делается на письменных источниках.

Молчат гробницы, мумии  
и кости, —  
Лишь слову жизнь дана:  
Из древней тьмы, на  
мировом погосте,  
Звучат лишь Письмена.  
И нет у нас иного  
достоянья!

Этот отрывок из стихотворения И. А. Бунина «Слово» хорошо передает смысл того, что мы назвали филологической ориентацией исторического знания, которая во всеобщей истории начала преодолевать, благодаря успехам археологии, уже во второй половине XIX в., когда соответствующими специалистами была осознана важность «много достоянья» — вещественных источников, ныне называемых памятниками истории и культуры.

Что же касается историко-научных исследований, то здесь аналогичный процесс начал происходить позднее. Надо сказать, что историки науки давно проявляли интерес к описанию научных приборов, инструментов, технической аппаратуры. Так, уже в XVII в. известны описания химической аппаратуры, сделанные английскими химиками Э. Эшмолом и Р. Глаубером<sup>1</sup>. Недавно в Лондоне переиздали книгу Н. Био, впервые опубликованную в 1758 г. и посвященную физическим и математическим инструментам, которые использовали И. Ньютон и его ученики<sup>2</sup>. Интерес к описанию научного инструментария сохранялся и в дальнейшем. Так, А. Лавуазье посвятил специальную часть своего «Начального учебника химии» описанию химической аппаратуры и методов работы с ней. Однако эта линия историко-научного ис-

<sup>1</sup> Ashmole E. *Theatrum chemicum*. L., 1652; Glauber R. *Works*. L., 1689.

<sup>2</sup> Bion N. *Mathematical instruments*. L., 1758; L., 1972.

следования не стала даже в XIX в. решающей и не приобрела методологического значения. Именно поэтому К. Маркс был вынужден заметить в «Капитале», что до сих пор нет работ по критической истории технологии, что «история образования производительных органов общественного человека», «созданных человеческой рукой органов человеческого мозга» заслуживает самого пристального внимания<sup>3</sup>.

В наши дни ситуация начинает меняться. История научных приборов и аппаратуры становится неотъемлемой частью историко-научных исследований. Ныне существует большая литература по истории часов, барометров, микроскопов, химической и физической аппаратуры XVII и XVIII столетий. Некоторые историки науки, в частности известный английский историк химии Д. Найт, говорят о необходимости создать специальную отрасль истории науки и техники — технологическую археологию, которая изучала бы исторические формы техники и технологии, лабораторного оборудования и научных инструментов<sup>4</sup>.

Включение памятников науки и техники в состав исторических источников требует огромной предварительной работы, которая в нашей стране уже началась, о чем свидетельствует, в частности, выход в свет нового ежегодника «Памятники науки и техники». Он подготовлен Проблемной группой по изучению памятников науки и техники, созданной в Институте истории естествознания и техники АН СССР. В предисловии к новому изданию говорится, что в нем будут освещаться теоретические и практические вопросы, связанные с выявлением, охраной и изучением памятников науки и техники, описываться научные коллекции, хранящиеся в различных музеях СССР.

Естественно, что в первом выпуске нового ежегодника

большое внимание уделено теоретическим вопросам. Он открывается статьей ответственного редактора этого выпуска Л. Е. Майстрова, посвященной общекультурному значению памятников науки и техники. Среди всего состава памятников Л. Е. Майстров особо выделяет научные приборы и инструменты, машины, памятники фабричного производства (например, шахты, гидротехнические сооружения), памятные места, связанные с жизнью и деятельностью выдающихся ученых и изобретателей. Автор следующей статьи П. В. Боярский предлагает классифицировать памятники науки и техники по способу кодирования заключенной в них информации. В соответствии с этим им вычленились пять основных типов памятников науки и техники — вещественные, или предметные, письменные, изобразительные, фонопамятники и памятные места науки и техники. Каждый из этих типов подразделяется на ряд категорий. В общем можно сказать, что здесь предложена стройная и достаточно строгая классификация всей совокупности памятников науки и техники, во многом соответствующая тем классификациям исторических источников, которые общепризнаны во всеобщей истории и вспомогательных исторических дисциплинах.

Однако, как неоднократно подчеркивают авторы сборника, памятники науки и техники не тождественны всему многообразию историко-научных источников, а потому их изучение требует специальной подготовки и разработки специальной методики. Подобные методические разработки по выявлению, описанию и каталогизации памятников для ряда отраслей науки и техники уже созданы<sup>5</sup>, для других областей — создаются. Именно эти методические разработки наводят на мысль, что могут существовать различные типы классификации памятников науки и техники, соответ-

ствующие многосторонним задачам их изучения. К сожалению, в статье П. В. Боярского не отмечается то обстоятельство, что классификация памятников науки и техники может быть построена на разных основаниях. Среди такого рода оснований укажем выделение морфологических и функциональных признаков памятников, первичность и вторичность фиксируемой информации, различие в характере информации (фактуальная и нормативная и пр.).

Изучение памятников науки и техники, создание развернутой источниковедческой базы историко-научных исследований может быть осуществлено лишь с помощью взаимодействия различных наук — палеографии, текстологии, археологии и специальных естественных наук. Так, историко-научный анализ памятников древних зодчих, которые ранее исследовались преимущественно в истории архитектуры, в статье А. Н. Боголюбова стал средством осмысления истории механики. Хотя строительная механика как наука возникла лишь в XIX в., совместная работа зодчих и механиков при строительстве храмов и крепостей уже в древности приводила к оригинальным инженерным решениям. Конечно, к ним приходили практическим путем, и лишь столетия спустя вставшие в строительстве проблемы прочности материалов, устойчивости конструкций получили теоретическую разработку. Но все же решения, эмпирически найденные строителями древности, сохраняют и для нас интерес, а некоторые просто являются образцовыми. Так, армянский зодчий Трдат, возводя собор в Ани (конец X в.), заставил все основные конструкции «работать на сжатие» и тем предвосхитил, как показывает А. Н. Боголюбов, идеи ранней готики. Ряд новых задач строительной механики решили зодчие Средней Азии при сооружении куполов различной формы — конических, сферо-конических и сферических. Изучение памятников архитектуры как памятников науки и техники предполагает существенное расширение методов исследования и обращения не только к истории

<sup>3</sup> Маркс К. и Энгельс Ф. Соч., т. 23, с. 383; т. 46, ч. II, с. 215.

<sup>4</sup> Knight D. Sources for the History of Science. 1660—1914. L., 1975.

<sup>5</sup> См., напр.: Методические рекомендации по выявлению, отбору и научному описанию памятников науки и техники в собраниях музеев. Под общ. ред. П. В. Боярского, А. И. Шкурко (в трех вып.). М., 1981.

архитектуры, но и к данным строительной механики, учения о сопротивлении материалов, методам теории упругости, теоретической механики.

М. К. Гаврюхин в своем исследовании древнерусского трактата «О небеси», составленного в 1460 г. из различных фрагментов более раннего происхождения, использовал не только методы текстологического сравнения различных рукописей, но и методы палеографии, кодикологии и др. Описание В. А. Кондрашиной и Т. Б. Шашкиной одного из ценнейших памятников — большого колокола Савино-Сторожевского монастыря, отлитого в 1668 г. Александром Григорьевым и, к сожалению, разбитого в 1941 г., потребовало от авторов углубленного изучения техники колоколотейного дела в Древней Руси<sup>6</sup>.

Необходимость комплексного изучения памятников науки и техники связано, в частности, и с тем, что многие из них трудно отнести лишь к одному классу — вещественному, письменному и т. д. В. Л. Гвоздецкий анализирует комплексные памятники науки и техники на примере плана ГОЭЛРО, в ходе разработки которого были поставлены развернутые исследовательские задачи перед специалистами ряда областей науки, а его реализация была связана со строительством 20 тепловых электростанций, линий электропередач, с созданием новых отраслей промышленности, выпускающих электрогенераторы, гидравлические и паровые турбины и др.

Исследование инструментов и научных приборов, записей наблюдений, сделанных с их помощью, методов вычисления и их конструирования дает историку науки возможность оценить степень точности, доступной для определенного этапа в развитии естествознания. Это в свою очередь позволяет решить, как показывают публикации сборника, вопрос о том, сдерживается ли развитие экспериментальных исследований достигнутыми пре-

делами технических средств — границами разрешающей способности оптических приборов, рамками точности, предоставляемыми измерительными приборами того или иного времени. Известно, что усовершенствования микроскопа способствовали быстрому прогрессу эмбриологии и бактериологии, а развитие рентгенографической аппаратуры привело к большим успехам в кристаллографии.

Изучение памятников научно-технического прогресса может служить и служит не только источниковедческой базой историко-научных исследований, но и средством подтверждения и опровержения исторических обобщений и утверждений. Так, исследование иконографических памятников (картин, гравюр, рисунков с натуры и пр.) позволяет, как отмечает О. В. Макашова, пролить новый свет на время возникновения и датировку приборов, научных инструментов. Например, профессор Тюбингенского университета В. Шиккард (1592—1635) был изображен на портрете с неизвестным прибором в руках, и лишь реконструкция этого прибора на основании его изображения, произведенная в 1977 г. Л. Маккензи, показала, что это первый коперниканский планетарий. Выяснилось, что честь его создания принадлежит не Х. Гюйгенсу, как ранее считалось, а В. Шиккарду, время его создания сместилось на несколько десятилетий и определяется уже как первая четверть XVII в. Другой пример. Исследуя картины XVII в., историки науки обнаружили на них изображение пневматической машины, что сделало достоверными некоторые сообщения об ее изобретении, ранее считавшиеся сомнительными.

Как мы видим, диапазон тематики сборника весьма обширен. Конечно, не все виды памятников научно-технического прогресса нашли свое отражение и освещение на страницах первого выпуска. Не все материалы, помещенные в нем, равноценны. Слишком бегло описание уникальных астрономических инструментов древней и средневековой Армении в статье Б. Е. Туманяна. В статье

М. С. Шенгелии, посвященной древним грузинским медицинским рукописям, по сути дела, не дается их содержательного описания, а подготовленный Б. А. Розенфельдом интересный список математических и астрономических рукописей на восточных языках, хранящихся в библиотеках СССР, не аннотирован, не снабжен примечаниями о сохранности текста и т. д. В статье Х. Эзмалу, посвященной коллекции астрономических приборов Тартуского университета, основное внимание уделено развитию астрономии, а не характеристике астрономических памятников. Техническое описание реликвий отечественного железнодорожного транспорта, даваемое в статье А. С. Никольского, Л. Л. Макарова и А. А. Васильева, ограничивается теми марками локомотивов, которые установлены в качестве памятников в различных городах Советского Союза. Таким образом, остались без внимания многие марки отечественных паровозов, которые представляют интерес для истории науки и техники. Между тем указание на эти марки, а еще лучше — их подробная квалификация способствовали бы выявлению этого рода памятников и их учету.

Каждый понимает, что в изучении памятников науки предстоит сделать очень многое. Требуют исследования коллекции, хранящиеся в различных музеях СССР, например зрительных труб, метрологических приборов, научных рукописей и книг, в частности рукописных естественнонаучных книг и инкунабул. Впереди большая работа по выявлению и описанию памятников отечественной техники, в частности автомобилей, самолетов и др. Положено начало — и начало хорошее — сложной и кропотливой работе по выявлению, учету, описанию и изучению памятников научного и технического прогресса. Эта работа должна завершаться созданием свободного каталога памятников науки и техники всех областей и регионов Советского Союза.

<sup>6</sup> См. статью этих авторов в «Природе», 1981, № 8, с. 78.

## Астрофизика

Л. И. Мирошниченко. СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ И ЗЕМЛЯ. М.: Наука, 1981, 144 с., ц. 50 к.

Книга, написанная в популярной форме, дает представление о современном состоянии проблемы солнечно-земных связей. Солнце как источник энергии геофизических возмущений, солнечный ветер и его воздействие на оболочки Земли, ритмы солнечной активности — темы первых нескольких глав. Далее автор знакомит читателя с современными исследованиями, которые связаны с влиянием солнечной активности на верхнюю атмосферу Земли (геомагнитные бури и полярные сияния), на погоду и климат. И хотя метеорология и климатология пока не включили в практику прогнозирования имеющиеся результаты по изучению солнечной активности, важность этих результатов уже получила признание.

Особое внимание уделено в книге проблеме влияния Солнца на биосферу Земли. Значение ее доказывать не приходится — о нем свидетельствуют данные хотя бы из области кардиологии и эпидемиологии. Недалек тот день, как считает автор, когда данные гелиобиологии и космической биоритмологии начнут учитываться в практике здравоохранения и хозяйственного планирования.

## Математика

Е. И. Игнатьев. В ЦАРСТВЕ СМЕКАЛКИ. Под ред. М. К. Потапова. Текст. обраб. Ю. В. Нестеренко. 2-е изд. М.: Наука, Главн. ред. физико-математической литературы, 1981, 208 с., ц. 30 к.

Написанная в начале нашего века, книга является одним из первых популярных изданий по математике, вышедших на

русском языке. В ней содержится большое количество задач занимательного характера, представляющих интерес и для детей, и для взрослых. Как правило, эти задачи решаются с привлечением минимальных сведений из арифметики и геометрии.

По мнению автора книги, которое он излагает в предисловии к изданию 1908 г., «умственную самостоятельность, сообразительность и «смекалку» нельзя ни «вадалбливать», ни «вложить» ни в чью голову. Результаты надежны лишь тогда, когда введение в область математических знаний совершается в легкой и приятной форме, на предметах и примерах обыденной и повседневной обстановки, подобранных с надлежащим остроумием и занимательностью». А в предисловии к изданию 1911 г. он обращается ко взрослым: «Не натаскивайте... ребят на различных «табличках» сложения, вычитания, умножения, на механическом запоминании различных правил и формул, а прежде всего приучайте охотно и сознательно мыслить. Остальное приложится».

Так как с момента первого выхода книги (в трех томах) прошло 70 лет, для современного издания книгу пришлось существенно переработать, придав части задач более современный вид или стилизуя их под старинные истории и сказки. При этом всюду, где только возможно, был сохранен образный язык автора.

## Химия

Е. Д. Терлецкий. ЛИК НЕВИДИМКИ. М.: Химия, 1982, 190 с., ц. 40 к.

«Речь вошла в тело, но тело продолжало лежать. Зрение вошло в тело, но тело продолжало лежать. Слух вошел в тело,

но тело продолжало лежать. Мысль вошла в тело, но тело продолжало лежать. Дыхание вошло в тело, и тело восстало. Дыхание стало песней...» — этой древнеиндийской притчей начинает автор разговор о воздухе — основе жизни на Земле.

В книге рассказывается о происхождении земной атмосферы, о составляющих ее газах и их использовании в промышленности, о проблемах создания искусственного воздуха для подводных аппаратов и космических кораблей. Автор совершает экскурсии в историю изучения воздуха, рассказывает о работе Галилея и Торричелли, Паскаля и Бойля и заканчивает эту часть книги описанием опытов П. Л. Капицы, открывшего явление сверхтекучести гелия и разработавшего способ сжижения воздуха с помощью турбодетандера.

Книга хорошо издана, иллюстрирована гравированными портретами ученых с краткими персоналиями.

## Биология

П. М. Рафес. БИОГЕОЦЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОЯДНЫХ ЛЕСНЫХ НАСЕКОМЫХ. М.: Наука, 1980, 168 с., ц. 1 р. 80 к.

Книга П. М. Рафеса является итогом многолетней работы автора в области изучения лесных сообществ. Она продолжает обсуждение вопросов, изложенных в его предыдущей книге «Роль и значение растительноядных насекомых в лесу» (М., 1968).

Книга состоит из семи глав. Первая из них, наиболее общая, носит название «Биогеоценоз». Следующие две главы, обсуждают формы взаимодействия между организмами в биогеоценозе (при этом одна из них посвящена химическим связям между организмами че-

рез среду). Последующие четыре главы обобщают материал о конкретном типе биогеоценозов — лесном биогеоценозе. Особенно подробно анализируются пищевые связи насекомых с растениями.

Книга является продолжением работ школы В. Н. Сукачева и предназначается для всех, кто занимается вопросами экологии, включая научных работников, преподавателей и студентов.

#### Геология

**В. Е. Копылов. БУРЕНИЕ.. ИНТЕРЕСНО!** М.: Недра, 1981, 160 с., ц. 30 к.

Книга специалиста в области горного дела, профессора В. Е. Копылова посвящена широкому кругу проблем, связанных с применением бурения в различных отраслях науки и техники. В популярной форме автор рассказывает о развитии техники бурения от древних времен до наших дней.

Читатель получит возможность расширить свои представления об использовании буровых скважин в сейсмологии, археологии, для подземных ядерных взрывов, а также о том, как советскими автоматическими станциями «Луна-16, -20 и -24» производилось бурение лунных пород и как американские астронавты провели на Луне ручное бурение.

#### География

**ОПЫТ БОРЬБЫ С ОПУСТЫНИВАНИЕМ В СССР.** Отв. ред. А. Г. Бабаев. М.: Наука, 1981, 113 с., ц. 1 р. 30 к.

Пустынные территории в СССР занимают немалую часть общей площади. Что делается здесь для того, чтобы не допустить их расширения и повысить продуктивность местных биогеоценозов? Ответ на этот вопрос дан в книге коллектива авторов, обобщивших опыт среднеазиатских республик. Исключительный научный и практиче-

ский интерес, учитывая огромные масштабы опустынивания во многих регионах Азии и Африки, имеют результаты длительных опытов по повышению урожайности пустынных пастбищ в Туркмении. Эти работы, в организации которых принимает деятельное участие академик АН Туркменской ССР Н. Т. Нечаева, привели к созданию системы рационального использования пустынных земель. Подробно описаны в книге приемы закрепления и облесения подвижных песков. Отдельная глава посвящена развитию орошаемого земледелия как наиболее эффективного средства борьбы с опустыниванием.

#### География

**М. Л. Плахова, Б. В. Алексеев. ОКЕАНИЯ ДАЛЕКАЯ И БЛИЗКАЯ.** (Путевой дневник художников.) М.: Наука, Главн. ред. восточной литературы, 1981, 256 с. с илл., ц. 1 р. 30 к.

В прошлом ни одна солидная научная экспедиция не обходилась без профессиональных художников. Знаменитые книги Кука, Бугенвиля, Крузенштерна, Лисянского, Головнина иллюстрированы именно ими. Михлухо-Маклай путешествовал в одиночку, и ему приходилось рисовать самому. Рисунки были материалом научно-го отчета.

В век современной кино- и фототехники, казалось бы, брать в экспедиции художников ни к чему. Жизнь опровергает подобную точку зрения. Часто объектив не способен увидеть то, что глаз. Вот почему на научно-исследовательском судне АН СССР «Дмитрий Менделеев», отправившемся в 1977 г. в свой 18-й рейс в южную часть Тихого океана, нашлось место для двух московских художников, и они привезли из рейса не только интересный изобразительный материал географического и этнографического содержания, но и литературный дневник. Изобразительный материал с успехом экспонировался на XIV Международном тихоокеанском научном конгрессе, а в со-

вокупности с литературным составил эту книгу, которая может заинтересовать самую широкую аудиторию.

#### География

**В. Н. Солнцев. СИСТЕМНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЛАНДШАФТОВ.** М.: Мысль, 1981, 238 с., ц. 1 р. 20 к.

Ландшафтная концепция существует в географии целое столетие. За это время она испытала сложную эволюцию и продемонстрировала свою жизнеспособность. В книге отражен новый этап — системное исследование структуры и организации ландшафтов. Автор стремится показать, что применение системного подхода в физической географии есть нечто большее, чем попытки «влиять молодое вино в старые мехи». Предпринятый им анализ распространенных ландшафтных парадигм как устойчивых схем научной деятельности позволяет уяснить отличие современных идей от традиционных. Основная часть книги отведена описанию вещественного субстрата, т. е. тех естественных компонентов, из которых складываются территориальные комплексы ландшафтов. В ряде ее разделов рассмотрено интереснейшее свойство этого субстрата — симметрия, до сих пор не привлекавшая к себе пристального внимания географов. Знание «архитектуры» существующих ландшафтов поможет в проектировании оптимальных систем жизнеобеспечения людей на Земле в эпоху научно-технической революции — таков вывод автора.

#### География

**Ф. Н. Мильков. ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ.** Современное состояние, закономерности, проблемы. Воронеж: Изд-во Воронежского ун-та, 1981, 395 с.

Книга профессора Воронежского университета Ф. Н. Милькова как бы подводит итоги сорокалетнему исследованию автора в области природных территориальных комплек-

сов. В монографии изложены современные представления о структуре физической географии и используемых ею принципах. Специальный раздел посвящен характеристике ландшафтообразующей роли рельефа. Здесь читатель найдет сведения о разных типах природных систем, включая склоновые и речные. Интересно описание явления высотной зональности, свойственного, оказывается, не только горам, но и сравнительно небольшим возвышенностям, например возвышенностям Русской равнины. Много внимания уделяет Ф. Н. Мильков старой и очень сложной проблеме районирования, отмечая негативные, с его точки зрения, тенденции в этой области исследований и перспективные направления, к которым он отнесит анализ динамической сопряженности суши и вод. В заключительном разделе прослежена история физической географии, показана смена школ и роль ученых, стоявших у истоков этой науки, — Л. Г. Раменского, А. Н. Краснова, П. А. Костычева.

#### Палеогеография

**Н. А. Хотимский. СЛЕДЫ ПРОШЛОГО ВЕДУТ В БУДУЩЕЕ.** (Очерки палеогеографа.) М.: Мысль, 1981, 160 с., ц. 3 р.

В книге предпринята попытка ввести читателя в круг проблем современной палеогеографии, исследующей историю растительности, ландшафтов, рельефов, почв и других элементов среды.

Конкретное изложение экспедиционных событий сочетается в книге с анализом теоретических вопросов. Палеогеография представлена как наука, переживающая процесс бурного развития: накоплен огромный эмпирический материал, осваиваются новые методы палеогеографического анализа (палеомагнитный, пылевой, глубоководного бурения) — наука ждет больших обобщений, вскрытия существующих закономерностей. Основное внимание уделено эпохе голоцена — современному послеледниково-

го этапа развития Земли, охватывающего последние 10—12 тыс. лет. Эта эпоха интересна значительными изменениями среды, ускоряющимся развитием человечества, возрастанием роли антропогенного фактора в изменении естественных ландшафтов. Закономерно поэтому, что автор много места отводит палеоэкологическим реконструкциям. При этом он утверждает, что палеогеография не ограничивается лишь ретроспективными исследованиями. На основе выявленных «следов прошлого» она пытается предсказать возможные изменения в природе.

#### Этнография, география

**С. Ф. Кулик. КОГДА ДУХИ ОТСТУПАЮТ.** М.: Мысль, 1981, 223 с., ц. 3 р.

Новая книга писателя-географа С. Ф. Кулика посвящена Мадагаскару, где он бывал неоднократно в течение многих лет. Автор рассказывает о верованиях, обычаях, образе жизни современных малагасийцев, перелистывает страницы их нелегкого прошлого. Повествует о пестрой этнографии острова, о том, как в разные времена заселяли его различные народы.

Многие страницы книги посвящены уникальной природе Мадагаскара, которая хранит реликтовые виды животных и растений, вымерших повсюду, кроме этого замечательного острова. В водах, омывающих Мадагаскар, выловлено более 40 целакантов — рыб, которые «забыли» умереть. Это живые ископаемые, появившиеся в девонском океане 400 млн лет назад. Примерно полмиллиарда лет как появились на Земле древовидные папоротники, хвощи, саговники, а они и сейчас растут в тропических лесах Мадагаскара. На Мадагаскаре огромное число эндемичных видов фауны, среди которых — лемуры, черные попугаи, красные воробьи, множество хамелеонов, самые большие в мире бабочки. Еще богаче здесь растительный эндемизм. Своеобразие природы Мадагаскара по-

зволяет выделить его в самостоятельные зоо- и фитогеографическую области.

Книга иллюстрирована цветными фотографиями.

#### История культуры

**А. Я. Гуревич. ПРОБЛЕМЫ СРЕДНЕВЕКОВОЙ НАРОДНОЙ КУЛЬТУРЫ.** М.: Искусство, 1981, 360 с., ц. 1 р. 70 к.

Эта книга является как бы продолжением и разработкой темы предыдущей книги А. Я. Гуревича «Категории средневековой культуры» (М.: Искусство, 1972), где автор анализирует представления средневекового человека о мире и о себе. Но если в первой книге упор делался на анализ мышления интеллектуалов того времени, то в данной работе угол зрения смещен в сторону познания народной культуры — новой и почти не разведанной в науке темы.

Между тем изучение проблемы показывает, что мировоззрение простого народа не совпадало с официальным католицизмом; церковное учение усваивалось с трудом, упрощалось, окутывалось суевериями и предрассудками, что, однако, не означало простой вульгаризации версий христианства. Как следует из источников, это была «религия нечестная, не лишенная двусмысленности». Ее можно назвать «религией земли», пронизанной магией, языческими ритуалами, фольклорно-мифологическими традициями, параллели которым и поныне трудно встретить в тех странах мира, куда сравнительно недавно проникло христианство.

Суть подобной религиозности автор выделяет не из образов средневековой словесности, а обнаруживает в зоне их контакта с массой «простецов», где взаимодействовали два типа сознания — ученое и фольклорное. В проповедях, например, клирики обязаны были использовать фонд привычных народных представлений, не обузданных церковью, несмотря на все ее усилия.

Книга предназначена всем интересующимся историей мировой культуры и религии.

## Что такое химия, или чертова дюжина в издательском деле

Нешуточная пьеса в одном действии

Академик Б. М. Кедров

Действующие лица

Редактор, почтенного возраста  
Учитель химии, недавний выпускник ВУЗа

Время и место действия: весна 1981 г.,  
кабинет одной из редакций.

**Учитель** (в крайнем возбуждении врезается в кабинет с гранками в руках). Скажите, кто имеет отношение к редактированию 13-го издания учебника по неорганической химии для 7 класса, написанного Ходаковым, Эпштейном и Глорнозовым!

**Редактор** (невозмутимо). Я. А в чем дело?

**Учитель** (потряса гранками). В том, что готовится его издание и уже получены гранки!

**Редактор** (по-прежнему спокойно, но с любопытством). Ну и что?

**Учитель**. Прочтите, пожалуйста, вслух самое начало, подчеркнутую авторами фразу на странице 3.

**Редактор** (надевает очки, читает). «Химия — наука о веществах и превращениях их друг в друга». Ну, прочитал и не вижу причин для Вашего волнения.

**Учитель** (по-прежнему волнуясь). Пожалуйста, прочтите еще немного — вот здесь и здесь, тоже подчеркнутое на странице 10.

**Редактор**. Ладно, хоть и не понимаю, для чего. «Явления, при которых не происходит превращений одних веществ в другие, относятся к физическим явлениям».

**Учитель**. Теперь на странице 13.

**Редактор** (читает). «Химическими явлениями называются такие явления, при которых из одних веществ образуются другие вещества». Это мы подчеркиваем каждый раз, чтобы школьники запомнили покрепче, затвердили как дважды два. Вот и на странице 15: «Химические реакции заключаются в превращении одних веществ в другие». То же вновь подчеркнуто на странице 17.

**Учитель** (успокоившись). Спасибо, спасибо, Вы убедили меня, что я прочел именно то, что там напечатано. А то я, было, начал сомневаться.

**Редактор**. Да в чем все-таки дело? Разве то, что я прочел, неправильно? В чем же, по-вашему, тут ошибка?

**Учитель**. Тогда прочтите еще, будьте так добры, на той же странице 17 и на следующей неподчеркнутые фразы, сказанные явно мимоходом.

**Редактор** (читает). «Однако существуют и такие явления, при которых атомы одного вида

превращаются в атомы других видов... Но эти явления изучаются не химией, а другой наукой — ядерной физикой». (Недоуменно.) Но ведь и это верно!

**Учитель** (вкрадчиво). Однако превращение атомов одного вида в атомы другого вида, то есть одного элемента в другой, есть превращение вещества!

**Редактор** (не чувствуя подвоха). Разумеется.

**Учитель**. И это превращение носит физический, но совсем не химический характер?

**Редактор**. Конечно. Да ведь так и сказано в нашем учебнике!

**Учитель**. Эта мысль в нем подробно развивается при рассказе о свойствах атомных ядер, о радиоактивных элементах и их превращениях (на страницах 147, 160—161), об искусственном получении франция физическим путем (страница 141)...

**Редактор** (прерывая). К чему все это?

**Учитель**. Как к чему? Да все это вопиющим образом противоречит тому, что Вы сами же прочли в начале: что превращения веществ могут быть только химическими, а не физическими, поскольку они все без исключения изучаются химией! Именно так определен Вами предмет химии. А теперь выходит, что, вопреки самому себе, Вы признали, что, кроме химических, существуют еще и физические превращения веществ.

**Редактор** (растерявшись). Да-а-а, верно. Как Вы смогли это подметить? Что же теперь делать?.. Придумал! В начале учебника, где речь идет о химии и ее предмете, надо перед словами «вещества» и «превращения» вставить словечко «химические» — и все будет в порядке.

**Учитель**. Не будет! Ведь Вам надо определить химию как предмет изучения. Словечко «химические» лишь запутает дело. Оно предполагает, будто Вам заранее известно, что такое химия, которую Вы только еще собираетесь определять. Выйдет, что химию Вы определяете через химию же. А такие «определения» вообще

недопустимы, так как они образуют порочный круг.

**Редактор** (уныло). Что же делать?

**Учитель**. Да выбросить неверное определение! А неверным оно стало уже 85 лет назад, когда Анри Беккерель в 1896 г. открыл явление радиоактивности, то есть наблюдал первый случай физического превращения вещества.

**Редактор**. Ну, выброшу, а дальше что? Ведь надо все же сказать школьникам, что такое химия?

**Учитель**. Конечно, надо. Но зачем давать заведомо неверное определение, если к тому же Вы сами показываете, что оно несостоятельно? Ведь тем самым Вы отказываетесь от него.

**Редактор**. Хорошо, а чем его заменить?

**Учитель**. Как — чем? Менделеевским! Ведь еще в 1871 г. в первом издании своих «Основ химии», подводя итоги двухлетнего университетского курса, Менделеев резюмировал: «Вся сущность теоретического учения в химии и лежит в отвлеченном понятии об элементах... Главный интерес химии — в изучении основных качеств элементов». «Химию, — подчеркивал он, — в современном ее состоянии можно поэтому назвать учением об элементах». А дальше он прямо говорит о химии как «учении об элементах»<sup>1</sup>.

**Редактор**. Да, да, вспоминаю, об этом у нас где-то что-то писалось. (Засомневавшись.) А не устарело ли это определение сегодня? Ведь с тех пор прошло 110 лет.

**Учитель**. Ни капли не устарело! Ныне, как и тогда, химия занимается только элементами и их бесчисленными соединениями и по-прежнему является, как сказал Менделеев, учением об элементах и, добавлю, их соединениях. Но только понятие элемента нельзя давать сразу, на первой же странице учебника. Школьника к этому надо подготовить, на примере скажем, железа, меди, серебра или кислорода.

**Редактор** (с облегчением). Ну, тогда другое дело. Внесем исправление и... (Вдруг, спохватившись.) Да ведь первые-то листы нового издания учебника уже напечатаны!

**Учитель**. Что ж, придется их перепечатать — только и всего. До осени есть время.

**Редактор**. Эвал! А расходы кто на себя возьмет — Лавуазье, что ли?

<sup>1</sup> Эти цитаты действительно обнаружены автором в «Сочинениях» Д. И. Менделеева (т. XIV, с. 906, 907, 908).

**Учитель**. Уж, право, не знаю.

**Редактор**. Вот то-то: «Не зна-а-аю!» Между прочим, печатается не сто и не тысяча — миллионы экземпляров. Да и времени в обрез — надо поспеть к учебному году, иначе начальство голову снимет... Где Вы раньше были? Дотянули до последнего! Раньше нельзя было сигнализировать?

**Учитель**. Да ведь я только начал преподавать в школе...

**Редактор**. «Только на-а-ачал» — и тут же выскочил с этой ошибкой, словно клад нашел... Нет! Выпускаем учебник как он есть.

**Учитель**. И будем вбивать в головы школьников неверный ответ на первый же вопрос: что такое химия?

**Редактор** (к нему вернулось чувство достоинства). Ерунда! 12 изданий сходило с рук. Никто ничего не заметил. И теперь сойдет.

**Учитель**. Ну, хотя бы учителей химии надо предупредить, что в школьном учебнике не все ладно. Я тут маленькую рецензию написал. (Вытаскивает несколько исписанных листков бумаги.) Хорошо бы напечатать это перед началом учебного года...

**Редактор** (читает). «О предмете химии»? (Возмущенно.) Да Вы понимаете, что это будет прямой дискредитацией нового издания? Учебник только-только разошлут по школам, а вдогонку ему — эдакое «приятное» сообщение: не верьте ему, дескать, он с ошибками, а читайте то, что написал Менделеев 110 лет назад. Вы понимаете, на что Вы меня толкаете?

**Учитель**. Отлично понимаю: на честное, откровенное, принципиальное признание ошибки. Вы с этим согласились, значит ее надо быстро исправить.

**Редактор**. Да поймите же, наконец, что у нас есть редколлегия, редсовет — ни под каким видом они не допустят, чтобы Ваше предложение было принято. (Сокрушенно.) И откуда взялась эта напасть? Я не суеверный, но как не вспомнить, что издание-то не обычное, а 13-е. Чертова дюжина!

## ВМЕСТО ПОСЛЕСЛОВИЯ

Эта сценка представляет собой особый вид рецензии на школьный учебник химии для 7 класса. В ее основе лежит действительный факт: редакция соответствующего журнала не пожелала своевременно предупредить учителей химии о содержащейся в вышедшем учебнике серьезной ошибке в определении предмета химии.

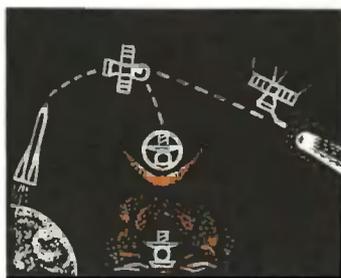
Художник П. Г. АБЕЛИН  
Художественные редакторы:  
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Корректоры:  
Т. Д. МИРЛИС, М. Б. РЫБИНА

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

Сдано в набор 7.05.82  
Подписано к печати 18.06.82  
Т-09865  
Формат 70×100<sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Офсет  
Усл. печ. л. 10,32  
Усл. кр.-отт. 1636 тыс.  
Уч.-изд. л. 15,4 Бум. л. 4  
Тираж 61 100 экз.  
Зак. 1208.

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



## В следующем номере

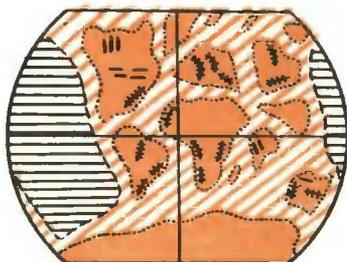
Экспедиции к комете Галлея, встреча с которой должна произойти в марте 1986 г., позволят, по мнению директора Института космических исследований АН СССР академика Р. З. Сагдеева, получить уникальную информацию о самой ранней стадии формирования Солнечной системы.

**Марочник Л. С., Скуридин Г. А.** На встречу с кометой Галлея.



Новый метод изучения фазы «парадоксального» сна позволил увидеть в ней возможный антистрессорный механизм к сильным внешним воздействиям.

**Ковальзон В. М.** Парадоксы «парадоксального» сна.



Гипотезы об увеличении объема Земли или его пульсациях в последние годы подтверждаются работами геохимиков, геофизиков, палеонтологов и других специалистов.

**Милановский Е. Е.** Расширяющаяся и пульсирующая Земля.



О героическом походе ледокола «А. Сибиряков», впервые в одну навигацию прошедшего в 1932 г. от Архангельска до Берингова пролива, вспоминает участник этой экспедиции.

**Гарменов И. В.** К Чукотке на «А. Сибирякове».



Со времен И. Ньютона изучение Вселенной сводилось только к физическим проблемам — в такой космологии нет места для жизни. Необходимо восстановить связи между космологией и биологией и попытаться создать «космическую экологию», рассматривающую потенциальные возможности существования и распространения жизни во Вселенной.

**Дэйсон Ф. Дж.** Будущее воли и будущее судьбы.

Цена 80 коп.  
Индекс 70707

