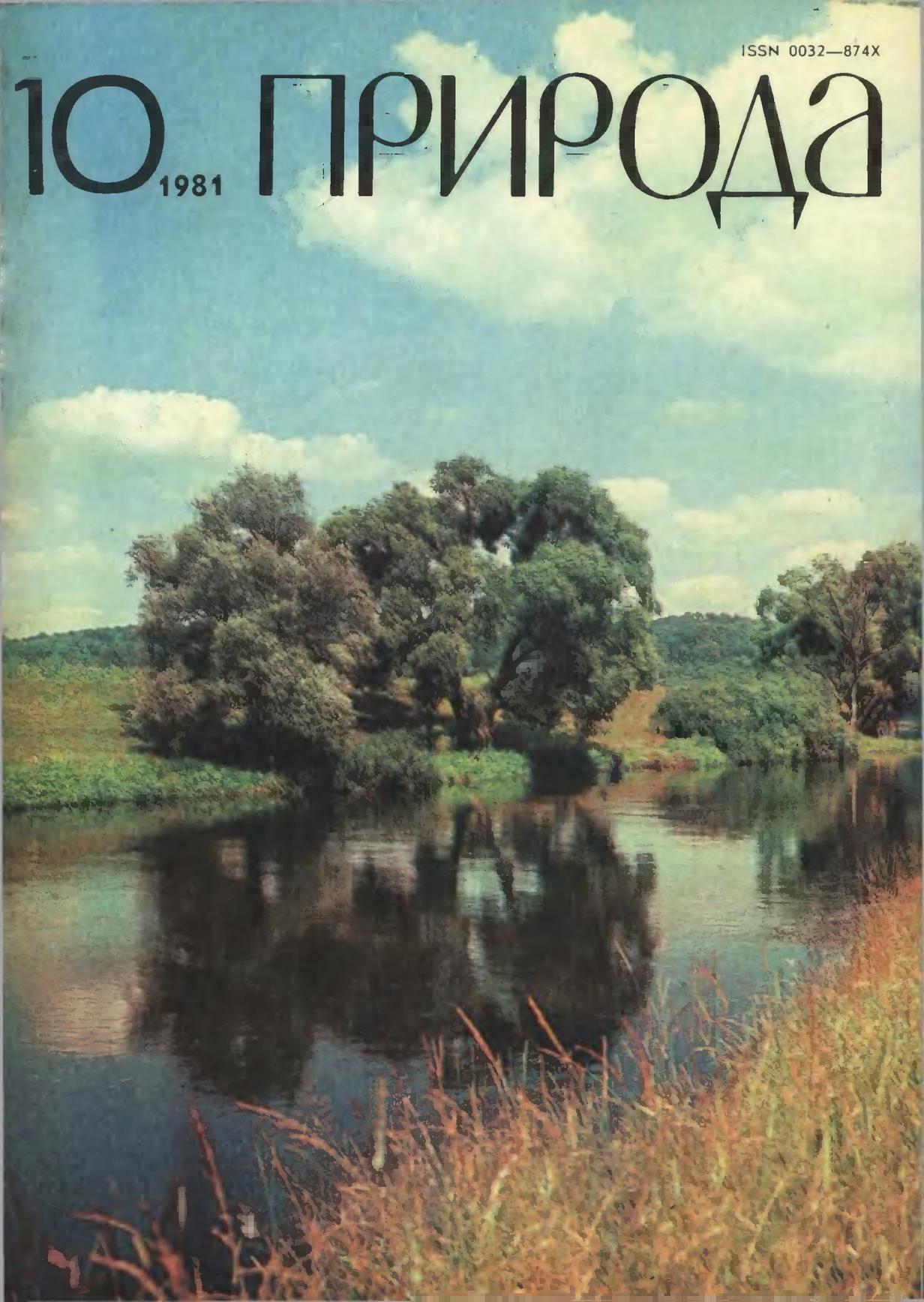


ISSN 0032—874X

Ю. ПРИРОДА

1981



Ежемесячный
популярный
естественнонаучный
журнал
Академии наук СССР

Основан в 1912 году



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
академик
Н. Г. БАСОВ

Доктор физико-математических наук
Е. В. АРТЮШКОВ

Доктор биологических наук
А. Г. БАННИКОВ

Академик
Д. К. БЕЛЯЕВ

Доктор биологических наук
А. Л. БЫЗОВ

Заместитель главного редактора
В. А. ГОНЧАРОВ

Доктор физико-математических наук
С. П. КАПИЦА

Академик
Б. М. КЕДРОВ

Доктор физико-математических наук
И. Ю. КОБЗАРЕВ

Академик
Н. К. КОЧЕТКОВ

Член-корреспондент АН СССР
В. Л. КРЕТОВИЧ

Доктор философских наук
Н. Ф. ОВЧИННИКОВ

Заместитель главного редактора
В. М. ПОЛЫНИН

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

Заместитель главного редактора
доктор биологических наук
А. К. СКВОРЦОВ

Доктор геолого-минералогических наук
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора
кандидат технических наук
А. С. ФЕДОРОВ

Член-корреспондент АН СССР
В. Е. ХАИН

Член-корреспондент АН СССР
Р. Б. ХЕСИН

Академик
В. А. ЭНГЕЛЬГАРТ

Доктор биологических наук
А. В. ЯБЛОКОВ



— символ межправительственной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (The Man and the Biosphere). Этим символом обозначены материалы, которые журнал «Природа» публикует в рамках участия в деятельности этой программы. Подробно о программе см.: «Природа», 1979, № 1, с. 28.

На первой странице обложки. Река Истра — одна из красивейших малых рек Подмосковья. См. в номере: Субботин А. И. Судьба малых рек.

Фото В. Н. Машатина.

На третьей странице обложки. Панцирный клещ *Passalozetes stellatus* Mikhaltzova (вид со стороны спинки и со стороны брюшка). См. в номере: Михальцова З. А., Кривоуцкий Д. А. Реликт раннего голоцена в микрофауне почв.

На четвертой странице обложки. Группа пестрых скорпионов, содержащихся в неволе. См. в номере: Малинина О. В. Пестрый скорпион в Семиречье.

Фото О. В. Малининой.

В НОМЕРЕ

	Субботин А. И. Судьба малых рек	2
	Попов В. С. Квантовая электродинамика сверхсильных полей	14
	Пузанов Л. С. Включения в минералах раскрывают их генезис	23
	Ерохин В. В., Филиппенко Л. Н. Мембрана, живущая вне клетки	32
	Вахрушев В. А. Геохимия окаменелых деревьев	40
	Курбаткин Г. П. Гидродинамические модели климата	43

ОТТО ЮЛЬЕВИЧ ШМИДТ. К 90-летию со дня рождения

	Шмидт О. Ю. Автобиография	56
	Александров П. С. Воспоминания об О. Ю. Шмидте	61
	Абрамов Л. С. Отто Юльевич Шмидт — редактор «Природы»	67

	Швецов П. Ф., Зильберборд А. Ф. Под землю, чтобы сберечь Землю	71
--	---	-----------

	Малинина О. В. Пестрый скорпион, его образ жизни	82
	Льюин У. Х. Дж. Решена ли загадка рентгеновских барстеров	86

НОВОСТИ НАУКИ		100
----------------------	--	------------

ЗАМЕТКИ, НАБЛЮДЕНИЯ	Тимонов М. А. О взаимопомощи у животных (115)	115
	Буруковский Р. Н. Креветки-чистильщики (116). Пономаренко В. П. Северный вогмер в Баренцевом море (117). Никонов А. А. Старые оползни Крыма (119)	120

КНИГИ, ЖУРНАЛЫ	Антипов А. И. Математика — психология — живопись (120).	
-----------------------	--	--

	Дроздов Н. Н. В защиту пернатых хищников (123)	
---	---	--

НОВЫЕ КНИГИ		124
--------------------	--	------------

В КОНЦЕ НОМЕРА	Лория К. А. Собрание	127
-----------------------	-----------------------------	------------



Судьба малых рек

А. И. Субботин



Анатолий Иванович Субботин, доктор географических наук, старший научный сотрудник Гидрометцентра СССР Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды. Специалист в области гидрологического режима рек. Автор монографий: Сток талых и дождевых вод (по экспериментальным данным). М.: Гидрометеиздат, 1966; Некоторые особенности стока дождевых вод в условиях лесной зоны Европейской территории СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1969; Структура половодья и территориальные прогнозы весеннего стока рек в Нечерноземной зоне Европейской территории СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1978.

Улучшить охрану водных источников, в том числе малых рек и озер, от истощения и загрязнения.

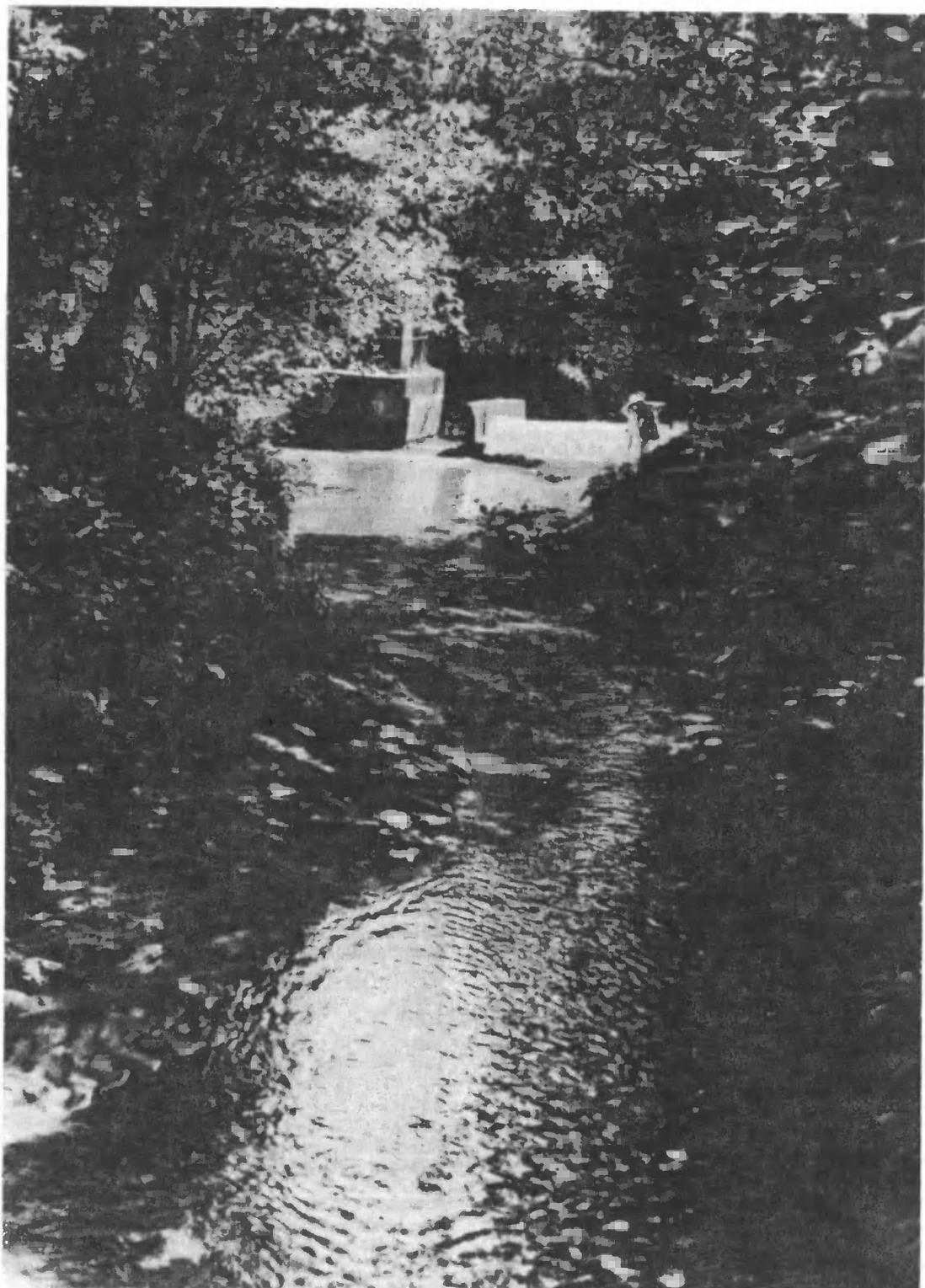
Основные направления экономического и социального развития СССР на 1981 — 1985 годы и на период до 1990 года

В наши дни бурного развития городов, промышленности и сельского хозяйства мелеют и загрязняются малые реки, верой и правдой служившие крестьянину и горожанину на протяжении долгих веков. Малая река обычно питает более крупную, или, говоря словами гидрологов, является начальным звеном гидрографической сети. Поэтому охрана и рациональное использование малых рек имеет отнюдь не региональное, а самое общее значение. В октябре 1980 г. Совет Министров СССР принял постановление «Об усилении охраны малых рек от загрязнения и истощения и о рациональном использовании их водных ресурсов». Характерно, что на первое место в постановлении вынесены именно вопросы охраны. Напомним, что в постановлении Совета Министров СССР от 22 апреля 1960 г. «О мерах по упорядочению использования и усилению охраны водных ресурсов СССР» основное вни-

мание уделялось вопросам использования. Уже в изменении акцентов в названии постановлений чувствуется и изменение в отношении к нашим водам.

За последние годы в массовой печати появилось немало ярких публицистических выступлений о судьбах малых рек. Возросло внимание к малым рекам и со стороны научных учреждений. В 1975 г. начались работы по водохозяйственной паспортизации малых рек. В научно-исследовательских учреждениях Академии наук СССР, Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды, Министерства мелиорации и водного хозяйства СССР изыскиваются пути поддержания

Река Медвенка — объект стационарных исследований Подмосквовской воднобалансовой станции. Здесь и далее фото А. И. Фотиева.



и восстановления благоприятного режима малых рек.

Изучением малых рек занимались, конечно, и раньше, но основное внимание при этом уделялось все же их хозяйственному использованию¹. Проблема комплексного исследования малых рек, включая разработку способов их охраны, с 1981 г. включена в план Государственного комитета СССР по науке и технике как одна из крупных тем, в разработке которой участвуют десятки научных и проектных организаций.

В этой статье речь пойдет о специфических чертах малых рек и их роли в современной жизни человека, значении научных исследований на малых реках. Однако прежде всего следует, видимо, договориться о том, что же такое малая река.

КАКАЯ РЕКА СЧИТАЕТСЯ МАЛОЙ

В настоящее время существует несколько определений малой реки. Вот одно из них:² «Река малая — река, имеющая сток в течение всего года или кратковременно прерывающийся вследствие истощения запасов дренируемых ею подземных вод. Четкой границы между рекой средней, малой и ручьем не существует. Условно к категории малой реки относят равнинные реки, имеющие площадь водосбора в пределах 1—2 тыс. км²». В этом определении в качестве основного количественного критерия принята площадь водосбора, причем указано только ее наибольшее значение, да и то неоднозначно. Более определенно этот критерий указан в Государственном стандарте 1973 г. К категории малых рек здесь отнесены равнинные реки с площадью водосбора менее 2 тыс. км². Иногда реки классифицируют также по водоносности или по гарантированным судоходным глубинам воды в руслах.

Но наиболее распространена в практике классификация рек по длине. В упомянутом выше постановлении Совета Министров СССР к малым отнесены реки короче 200 км. В других случаях к малым относят реки длиной менее 100 км. Классификация по длине положена в основу подсчета рек различных категорий.

Подсчет рек в СССР предпринимался неоднократно. При этом количество уч-

тенных рек непрерывно возрастало в соответствии с уточнением используемого картографического материала. Так, в начале 30-х годов перечень рек СССР состоял всего из 3517 названий. По итогам подсчетов, проведенных Государственным гидрологическим институтом в 1940—1941 гг., число зарегистрированных рек возросло до 117 тыс., причем более 99% этого числа составляли реки длиной менее 200 км. Эта цифра была включена во многие учебники и справочники.

После Великой Отечественной войны был проведен более точный подсчет количества рек СССР. Оказалось, что в Советском Союзе насчитывается около 3 млн водотоков разной величины, т.е. в 25 раз больше, чем считалось ранее. При этом, однако, доля малых рек осталась прежняя — 99%³.

Современное представление о распределении рек по категориям дает таблица.

Можно полагать, что это уточнение — не последнее. Но и сейчас очевидно, что такой природный объект, как малые реки, общая длина русел которых превышает 9 млн км, заслуживает особого внимания и специального изучения. В Европейской части СССР насчитывается около 666 тыс. малых рек, общая длина русел которых превышает 2,3 млн км.

ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМА МАЛЫХ РЕК

В отличие от более крупных водотоков, малая река чрезвычайно тесно связана с окружающим ландшафтом. Каждое изменение в ландшафте водосбора малой реки тут же отражается на ее режиме. В этом отношении малые реки гораздо более уязвимы, чем средние и тем более крупные. Ясно, что сведение леса и распашка почвы на участке площадью 1 км² заметно повлияет на режим водосбора размером в 10 км² и почти не отразится на режиме стока в бассейне площадью в 100 и тем более 1000 км². Во всяком случае, изменения здесь будут меньше точности современных методов измерений.

Из-за меньшей глубины вреза русловой сети подземное питание у малых рек всегда меньшее, чем у крупных. В средней полосе Европейской территории СССР подземное питание достигает устойчивого зна-

¹ К вопросу комплексного использования малых рек Советского Союза. М.: Изд-во АН СССР, 1940.

² Чеботарев А. И. Гидрологический словарь. Л.: Гидрометеоиздат, 1964.

³ Доманицкий А. П., Дубровина Р. Г., Исаева А. И. Реки и озера Советского Союза (справочные данные). Л.: Гидрометеоиздат, 1971.

Реки СССР

Категории рек по длине, км	Количество водотоков		Общая протяженность		
	единицы	%	км	%	
Самые малые	< 10	2812587	94,91	5624881	58,3
	10—25	113974	3,85	1697939	17,6
Малые	26—50	24100	0,81	834082	8,65
	51—100	8623	0,29	592206	6,14
	100—200	2857	0,10	386509	4,00
Средние	201—300	630	0,02	150277	1,56
	301—500	357	0,01	133075	1,38
Большие	501—1000	197	0,01	127241	1,32
	> 1000	63	0,00	101654	1,05
Всего		2963398	100,0	9647864	100,0

чения 0,15—0,20 мм/сутки при площади водосбора в 1—2 тыс.км². Дальнейшее увеличение площади бассейна, а следовательно и глубины вреза русла, уже не ведет к существенному увеличению подземного стока. В других ландшафтных зонах эта цифра будет, конечно, иная. В южных районах, где грунтовые воды залегают на большей глубине, она больше, а в северных — меньше. Меньшее подземное питание — причина не только меньшего объема общего стока малых рек, но и более неравномерного его распределения в течение года.

Так же влияет на сток и другая общая для малых рек особенность — сравнительно небольшая площадь водной поверхности в русле и отсутствие больших пойм, с которых обычно без больших потерь в реку стекают атмосферные осадки. В бассейнах временных водотоков их вообще нет, в то время как в бассейнах площадью более 200—300 км² на поймы приходится до 8—10% территории. Именно с пойм в реку попадает вода после выпадения небольших дождей, а в виде таких дождей выпадает до 2/3 летних осадков. Остальная часть бассейна в это время не принимает участия в формировании стока, так как вся дождевая вода здесь быстро впитывается в почву. При этом, однако, не следует забывать, что именно на малых водосборах летом иногда проходят очень бурные паводки, значительно превышающие те, что бывают на соседних более крупных реках. Но связано это не со свойствами водосборов, а с характером выпадения ливневых осадков, которые в равнинных районах Европейской части СССР выпадают обычно на сравнительно небольших пространствах, часто охватывающих лишь часть бассейна более или

менее крупной реки. А малые водосборы целиком перекрываются дождевой тучей.

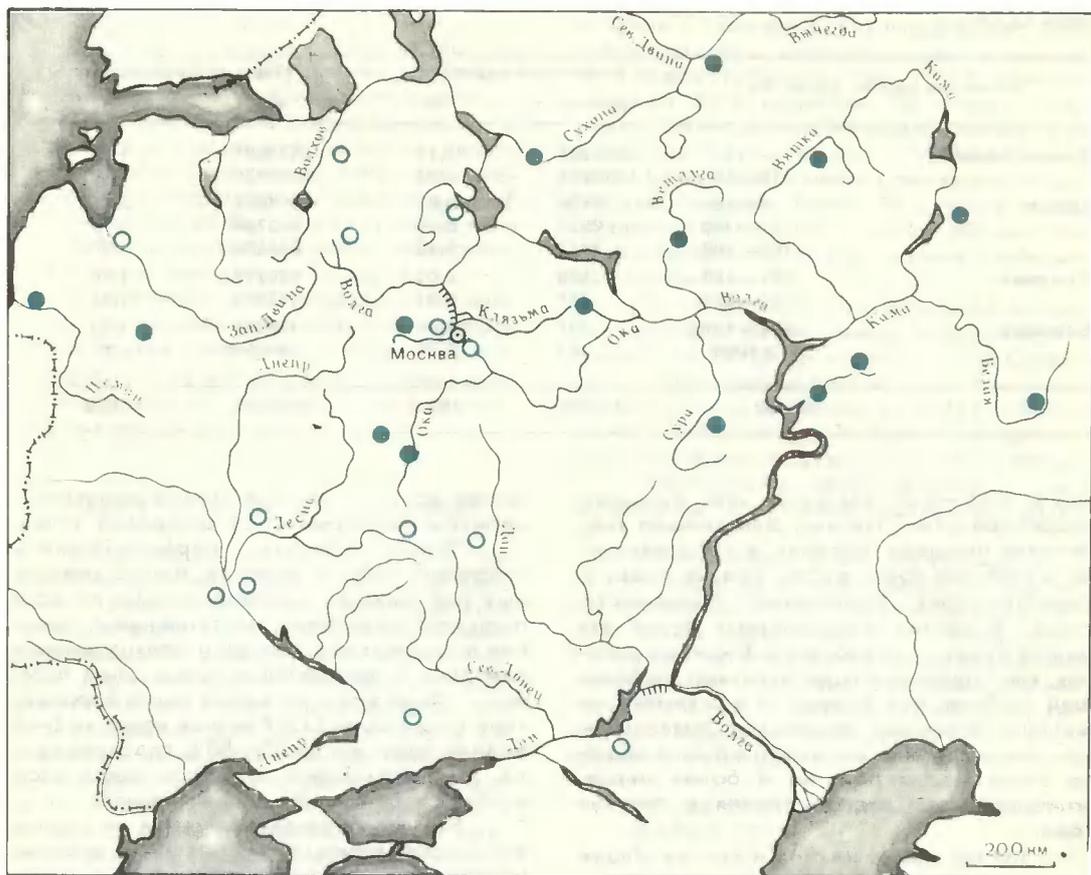
Таким образом, неравномерность гидрологического режима малых равнинных рек вызвана одновременным по всей площади водосбора поступлением талых или дождевых вод, быстрым прохождением паводков и пониженным подземным питанием. Из-за этого на малых реках Европейской территории СССР весной всего за 2—3 недели проходит до 70—80% годового стока, а на временных водотоках часто сток вообще наблюдается только весной.

Все это оказывает влияние на гидрохимический режим реки. Поскольку в большинстве случаев паводковая вода в русле малой реки находится всего в течение нескольких суток или даже часов, она не успевает очиститься под влиянием естественных химических и биологических процессов, а для разбавления загрязненных стоков воды не хватает, особенно в межень (период питания грунтовыми водами). Из-за этого загрязненность малых рек даже при сравнительно небольших поступлениях загрязняющих веществ быстро может превысить норму.

Этим, пожалуй, можно ограничить рассмотрение характерных особенностей малых рек и перейти к анализу роли их в жизни человека.

КАК ИЗМЕНИЛИСЬ ФУНКЦИИ МАЛЫХ РЕК

За последние десятилетия функции малых рек сильно изменились. Если сравнительно недавно малые реки во многих районах широко использовались в качестве источника питьевой воды, то теперь в Европейской части СССР, особенно на юге, все



Расположение станций наблюдений за водным балансом рек в Европейской части СССР.

-  воднобалансовые станции и гидрологические стационары
-  парные бассейны

реже встречаются реки, из которых хотелось бы и можно было бы напиться.

Существенно уменьшилось значение малых рек и как источника энергии. Если раньше мельницы и крупорушки на малых реках удовлетворяли значительную часть потребностей сельского хозяйства, то теперь они почти забыты. В 1911 г. на территории России насчитывалось 144 тыс. мельниц. К началу 1938 г. водяных мельниц в СССР осталось 35 тыс. О том, сколько их осталось к настоящему времени, можно судить по примеру Курской области, где когда-то на малых реках работало более

500 водяных мельниц, а сейчас только 4. В определенной степени уменьшение количества мельниц отразилось на состоянии самих малых рек, так как мельникам приходилось следить не только за состоянием плотин, но и за всем водосбором, чтобы не допустить заиления водохранилищ.

Печальный опыт массового строительства прудов и сельских ГЭС мощностью 30—50 кВт с конца 40-х до конца 50-х годов показал, насколько сложно гидротехническое строительство на малых реках. Недостаточно обоснованное проектирование и часто некачественное строительство привели к тому, что вскоре многие плотины были разрушены, а некоторые пруды так и не наполнились водой из-за неучтенной повышенной инфильтрации воды в ложе. Большие затраты на эксплуатацию и ремонт ГЭС делали их нерентабельными, и с 1960 г. строительство их было практически прекращено. Вместе с тем надо отметить, что проведенные в этот период проектно-изыскательские работы, безусловно, спо-

собствовали более полному изучению малых рек. В этот период резко возросло количество гидрологических постов на малых реках, было организовано большинство ныне действующих воднобалансовых (стоковых) станций.

С запретом молевого сплава резко уменьшилось и транспортное значение малых рек, хотя увеличилось использование маломерного моторного флота. Количество мощных катеров и быстроходных моторных лодок на некоторых реках настолько возросло, что привело к чрезмерному загрязнению их нефтепродуктами, размыву берегов, уничтожению водной растительности и вообще к резкому ухудшению экологических условий. Специальные исследования показали, что лодочные моторы являются источником загрязнения водоемов и водотоков канцерогенными углеводородами, иногда в концентрации, опасной для человека⁴. В связи с этим в некоторых областях Украины введены строгие ограничения использования маломерного флота на малых реках. В 1976 г. такое ограничение было введено на большинстве водохранилищ и малых рек в бассейне р. Москвы. В последние годы подобные меры предприняты и в ряде других республик и областей.

Возможно, что со временем, после усовершенствования лодочных моторов, ограничения могут быть сняты или, во всяком случае, уменьшены. Такие же перспективы могут оказаться и у энергетического использования малых рек.

В связи с сокращением во всем мире топливных ресурсов, малые ГЭС могут оказаться экономически выгодными, тем более, если будут разработаны полностью автоматизированные малые ГЭС, оборудованные безнапорными генераторами, не требующими строительства плотин и создания водохранилищ.

Видоизменилась и гипертрофировалась еще одна традиционная функция малой реки — сброс с территории излишков влаги. Если в недалеком прошлом малые реки и водотоки собирали относительно чистые талые и дождевые воды, то теперь их широко используют для сброса промышленных, хозяйственных и бытовых стоков. Особенно характерно это для крупных населенных пунктов, городов и промышленных районов. В Донбассе, например, из во-

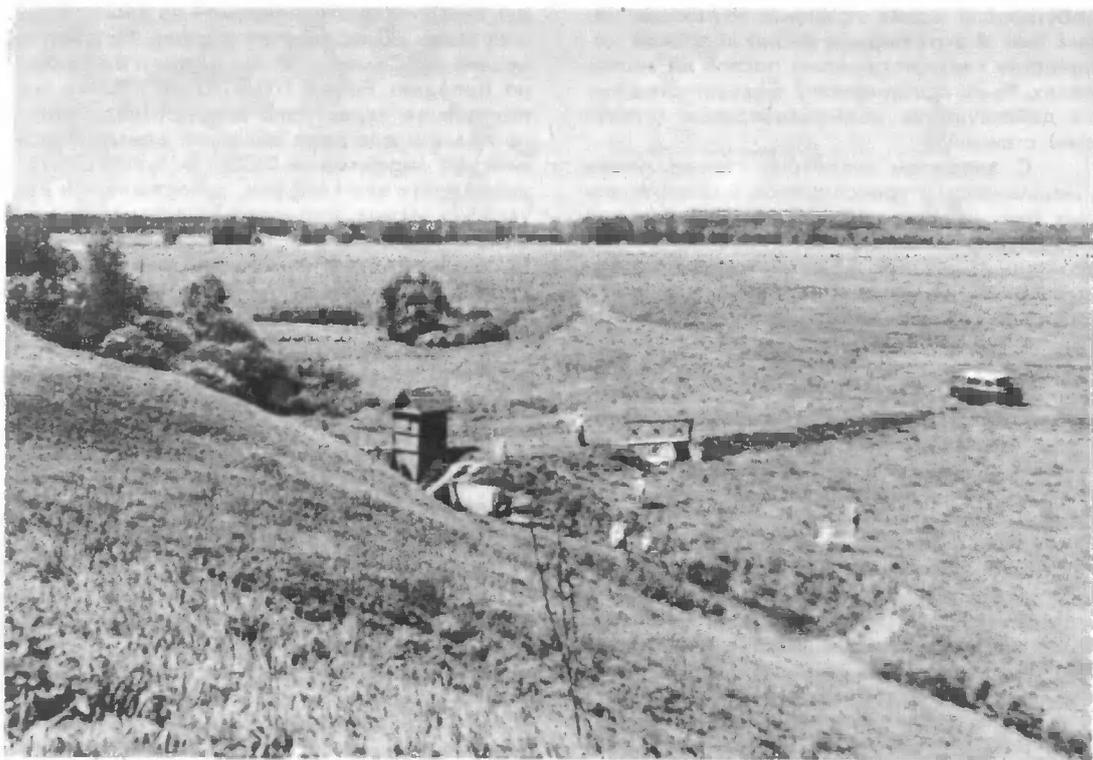
ды, ежедневно откачиваемой из шахт, большая часть сбрасывается в реки. Подсчитано, что в р. Самару с этими водами ежедневно попадает более 100 т солей⁵. Такое же положение характерно для промышленного Урала и для ряда областей центра Европейской территории СССР. В Тульской области почти все 1680 рек, относящихся к категории малых, несмотря на все усиливающиеся меры по очистке промышленных и бытовых сбросов, сильно загрязнены. Неочищенная вода из таких рек непригодна не только для питья, но и для промышленности.

Труднее всего бороться с рассредоточенными стоками бытовых вод и стоком с дорог, улиц, а в последнее время и с обильно удобряемых сельскохозяйственных полей. Чрезмерная распылка, захватывающая бровки, а иногда и тальвеги временных водотоков и поймы малых рек, приводит к усилению эрозии почвы и заилению гидрографической сети.

В особенно тяжелом положении находятся малые реки в крупных городах. В Москве, например, насчитывается около 150 малых рек. Большинство из них выполняет только одну функцию — канализационную. Многие реки заключены в трубы — Пресня, Неглинка, Ходынка и др. Гидрологический, гидрохимический и гидробиологический режим этих рек не имеет ничего общего с естественным. В настоящее время р. Москва в черте города стала чище своих притоков. Произошло это в результате очистки ее русла и замены донных отложений чистым песком. После этого относительно чистой воды, поступающей с верховьев и из Канала им. Москвы, стало хватать для разбавления загрязненных вод, стекающих в реку в черте города, до допустимой концентрации. В то же время некоторые протоки, такие как Яуза, Раменка, Очаковка, Самородинка, в черте города все еще сильно загрязняются главным образом неконтролируемым стоком с дорог, улиц, набережных. Для самоочищения в них не хватает воды и времени пребывания загрязненных вод в русле. Для уменьшения такого загрязнения в Москве принимаются дополнительные меры. В частности, снег, убранный с улиц, теперь разрешается сбрасывать только в те водотоки, на которых имеются необходимые очистные сооружения.

⁴ Клубков В. Г. Роль маломерного флота в загрязнении водоемов канцерогенными углеводородами. — В сб.: Охрана водной среды. М.: Московский рабочий, 1978, с. 53.

⁵ Оценка изменений гидрогеологических условий под влиянием производственной деятельности. М.: Недра, 1978, с. 213.



Медвенка в верхнем течении.

Наряду с хозяйственным использованием малые реки имеют большое экологическое значение. В рыбохозяйственных планах малые реки не фигурируют, но, когда говорят об уменьшении количества рыбы в крупных реках, озерах и водохранилищах, следует иметь в виду, что отчасти это вызвано неудовлетворительным состоянием их малых притоков. Многие породы речных рыб (в средней полосе это язь, сиг, щука, налим и др.) во время нереста частично покидают места своего постоянного обитания и поднимаются в верховья рек и в мелкие притоки. Некоторые из видов нерестятся в период летней или зимней межени, когда из-за маловодья загрязнение воды увеличивается. Из-за загрязнения, обмеления и перегораживания малых рек временными или постоянными плотинами ухудшаются условия размножения ценных пород, которые постепенно вытесняются и заменяются плотвой, окунем, густерой и др. Часто реки и водотоки перекрываются

без особой необходимости и пользы. Не всегда рационально проектируются трубы и туннели при строительстве железнодорожных и автодорожных переходов, многие из которых имеют неоправданно высокие пороги.

Большой вред рыбе приносят моторные лодки. Омертвела когда-то очень рыбная р. Векса, вытекающая из оз. Плещеево, расположенного около Переславля-Залеского. Основным видом водного транспорта на этой мелкой, неширокой и очень извилистой реке была плоскодонка, управляемая даже не веслами, а шестом. Но вот в 60—70-х годах произошло массовое оснащение лодок моторами, и это, вместе с плотиной в д. Усолье, привело к быстрому исчезновению рыбы в реке.

Экологическая роль малых рек тесно связана с их рекреационным использованием. Река длиной в 100—200 км сама по себе является прекрасным местом отдыха. Еще больше возрастает рекреационная роль малых рек, когда на них создаются пруды и водохранилища. Ярким примером служат подмосковные водохранилища, расположенные исключительно на малых реках. Дома отдыха, пансионаты, пионерские



Бассейн Медванки, несмотря на малый размер, отличается большим разнообразием ландшафта.

лагеря, различные туристские, охотничьи и рыболовные базы и просто прибрежные леса служат здесь местом отдыха сотен тысяч москвичей во все сезоны года.

До сих пор мы касались традиционных функций малых рек. В последние годы появились и быстро развиваются и новые, и в первую очередь мелиоративные.

Осушение территории со сбросом лишних вод в реки, с одной стороны, и использование вод малых рек для орошения, с другой стороны,— таково участие малых рек в мелиорации земель.

В нечерноземной зоне Европейской территории СССР ежегодно осушаются тысячи гектаров переувлажненных земель. На режиме средних и крупных рек эти работы пока сказываются незначительно. Что касается малых рек, то их бассейны иногда целиком подвергаются осушению, и это весьма существенно меняет их водный режим. Меженный сток малой реки может значительно уменьшаться из-за забора во-

ды на орошение. В особенно засушливые годы вода из некоторых рек разбирается полностью. В данном случае возникает противоречие между водо- и землепользователями.

К сожалению, малые реки, и тем более временные водотоки, долгое время не входили в поле деятельности водоохраных органов и находились в полном распоряжении тех землепользователей, по территории которых они протекали. Поймы часто распахивались до самого русла, в балках и оврагах устраивались свалки. Интенсивная хозяйственная деятельность в бассейнах малых водотоков иногда приводила к их полному исчезновению. В военные и послевоенные годы поймы малых рек около городов интенсивно распахивались под огороды. В результате усиления эрозии некоторые водотоки почти полностью заилились, и только, когда надобность в этих огородах отпала и участки быстро заросли травой и кустарниками, русла речек и их водность стали постепенно восстанавливаться.

Примеры отрицательного воздействия хозяйственной деятельности на водный режим малых рек характерны, к сожалению, для многих густонаселенных районов стра-



Автоматический водомерный пост (водослив) на Медвенке.

ны. Так, на Украине почти полностью заилились реки Чичикля, Висунь, Мертвовод, Барабей, Козенный Торец и др. Слой ила в некоторых других реках достигает 3—5 м. Исчезли или безнадежно обмелели многие реки Алтая, такие как Бурла, Кулунда, Чумыш, Алей и др. Большинство рек этого района потеряло рыбохозяйственное значение. В Приазовье из-за некавалифицированного строительства и эксплуатации запруд и прудов практически погибли (заросли, обмелели) реки Куго-Ея, Малеванная, Кавалерка и др.

Учитывая неудовлетворительное состояние многих малых рек, Совет Министров СССР в упомянутом уже постановлении от 8 октября 1980 г. обязал целый ряд министерств и научных учреждений провести в 1981—1985 гг. комплексные исследования по рациональному использованию и охране водных ресурсов малых рек в основных экономических районах страны.

Подобные исследования малых рек велись и ранее. Известный гидролог В. Г. Глушков еще в начале 30-х годов поставил вопрос о развитии комплексных наблюдений на малых водосборах. Эту идею развили и начали претворять в жизнь гидрологи Д. Л. Соколовский, М. А. Великанов, М. И. Львович, Б. В. Поляков и др. Но, пожалуй, только теперь появилась реальная возможность таких комплексных работ, в которых принимают участие гидрологи, химики, гидрогеологи, врачи-гигиенисты, почвоведы, лесоводы, экономисты, экологи и другие специалисты.

И здесь мы подошли к новому и очень важному аспекту практического использования малых рек и водотоков в качестве природных гидрологических лабораторий.

МАЛЫЕ РЕКИ КАК ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ЛАБОРАТОРИИ

Ценность наблюдений на малых водосборах состоит в том, что с их помощью можно более полно проверить существующие и разработать новые теоретические концепции формирования стока и водного баланса в конкретных ландшафтах. В связи

с этим экспериментальные гидрологические исследования на малых реках широко развиты во всем мире.

В СССР гидрологическая сеть состоит приблизительно из 5000 станций и постов. Около половины их размещено на малых водосборах, т. е. один пост приходится более чем на 1000 малых рек и водотоков. В связи с этим для правильного использования водных ресурсов малых рек большое значение приобретают методы расчетов стока, а также территориальных прогнозов; некоторые из них в последние годы были разработаны в Гидрометцентре СССР. Эти методы основаны на учете влияния ландшафта водосбора на величину и распределение стока по времени. Качественные и количественные характеристики учитываемых параметров определяются исходя из наблюдений на малых водосборах, в том числе и на воднобалансовых станциях.

Наблюдения на воднобалансовых (до 1968 г. их называли стоковыми) станциях внесли большой вклад в научную гидрологию. В настоящее время в системе Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды функционирует 17 таких станций. Имеется несколько гидрологических стационаров и в других ведомствах. Кроме того, в период Международного гидрологического десятилетия, проводившегося ЮНЕСКО с 1965 по 1974 г., в СССР были организованы воднобалансовые наблюдения еще на 15 парах небольших сплошь лесных или безлесных (парных) водосборов с целью определения влияния разных типов леса на сток талых и дождевых вод. Сейчас наблюдения на парных водосборах продолжают в соответствии с бессрочной Международной гидрологической программой.

Каждая воднобалансовая станция ведет наблюдения на нескольких небольших водосборах с разными типами ландшафта. Измеряется количество атмосферных осадков, высота и водный эквивалент снежного покрова, влажность и глубина промерзания почвы, испарение с поверхности воды, снега, почвы, уровень подземных вод, сток общий, поверхностный и иногда внутрипочвенный. На многих станциях наблюдения проводятся уже в течение 30—35 лет.

Достаточно полное представление о способах и результатах стационарных ландшафтно-гидрологических исследований на малых водосборах можно получить на примере Подмосковной воднобалансовой станции, расположенной в 30 км к западу от Москвы. Наблюдения на Подмосковной станции начались осенью 1945 г. Объектом

исследований стал бассейн небольшой реки Медвенки длиной около 10 км, впадающей в р. Москву.

Бассейн р. Медвенки, несмотря на небольшой размер (40 км²), отличается большим разнообразием поверхности, что позволяет проводить исследования в разных ландшафтных условиях. В настоящее время Подмосковная станция — научное учреждение со штатом более 50 человек. Основные наблюдения ведутся на 7 малых водосборах, имеющих различные ландшафтные характеристики. Сток на всех экспериментальных водосборах измеряется автоматически.

Подбор водосборов осуществлялся с таким расчетом, чтобы иметь возможность измерить сток во всех основных типах ландшафта. Частные особенности величины и режима стока связаны с различиями в структуре ландшафта. Впервые это отметил еще в 30-х годах В. Г. Глушков, разработавший так называемый географо-гидрологический метод изучения речного стока, в котором речной бассейн рассматривается как совокупность разнородных участков, сток на которых формируется по-разному. В равнинных районах наибольшее влияние на поверхностный сток оказывают почва и растительность. Исходя из этого в бассейне Медвенки по ландшафтно-гидрологическим признакам было выделено 5 основных типов ландшафта:

I — смешанный лес на суглинистых почвах (20% площади); II — смешанный лес на супесчаной почве (5%); III — безлесные участки на суглинистой почве (65%); IV — безлесные участки на супесчаной почве (5%); V — русловая сеть и прилегающие к ней участки (5%).

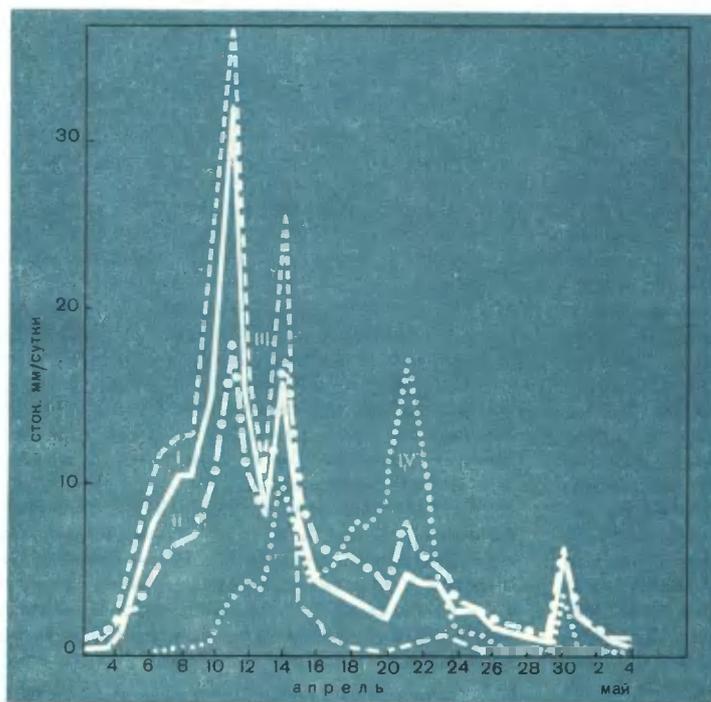
Инструментальные измерения стока с малых (элементарных) водосборов позволили оценить степень неоднородности весеннего стока в равнинном речном бассейне, даже таком маленьком, как бассейн р. Медвенки. В зависимости от типа ландшафта поверхностный сток за период половодья колеблется здесь от 0 мм в смешанном лесу на супесчаной почве до 100 мм в полях с суглинистыми почвами и 137 мм непосредственно в гидрографической сети.

Располагая такими характеристиками, можно рассчитать сток любого водосбора данного района, структура ландшафта которого известна. Например, рассчитанный таким образом средний многолетний сток р. Медвенки составляет 81 мм, а наблюдаемый равен 80 мм. Другими словами, ошиб-

ка расчета составляет менее 5%, а это сопоставимо с точностью самих измерений.

Бассейн р. Закзы, притока р. Медвенки, при площади водосбора 17 км² имеет иную структуру. I тип ландшафта занимает около 60% площади, II тип — 0%, III тип — около 30%, IV тип — 0% и V тип — 10%. Соответственно расчетный сток р. Закзы равен 61 мм, а наблюдаемый — 65 мм. Таким образом, только из-за различия в структуре ландшафта водосбора весенний

ка с полей, характер обработки которых и способы внесения удобрений определяют гидрологический и гидрохимический, а следовательно и гидробиологический режим малых рек. Отсюда один из практических выводов — недопустимо вносить удобрения в поля на поверхности снежного покрова, особенно в годы с глубоко промерзшей сильно увлажненной с осени почвой, в которую талая вода, а следовательно и удобрения, практически не впитываются и



Гидрографы стока Медвенки (I), Закзы (II), логов Полевого (III) и Лесного (IV) весной 1970 г. Поскольку метеорологические условия всех объектов одинаковы, формы гидрографов зависят только от структуры ландшафта. Отчетливо видна разница в режиме стока в лесу (IV) и на безлесных участках (III). Сток из леса принимает участие в речном стоке уже на спаде половодья.

сток р. Закзы оказывался более чем на 25% меньше стока р. Медвенки.

Даже предварительный беглый анализ этих расчетов позволяет сделать ряд научных и чисто практических выводов.

Во-первых, сток с лесной части водосбора составляет лишь небольшую часть общего весеннего стока: у р. Медвенки она равна 7%, а в бассейне р. Закзы — 28%. Если учесть, что средние лесные участки на речных водосборах в южной половине лесной зоны Европейской территории СССР, в которой расположена Подмосковная станция, составляют 30—35%, то станет очевидным, что на 80—90% сток половодья на реках этой зоны состоит из сто-

почти целиком стекают в реки, сначала малые, а затем в средние и крупные. Все виды удобрений, органические и неорганические, должны вноситься на поля только после схода снежного покрова и окончания стока талых вод с полей.

Во-вторых, структурный анализ распределения по времени весеннего стока позволил сделать вывод, что особенно большую роль сток с безлесных участков играет в формировании максимальных расходов воды в период половодья. Объясняется это не только меньшей общей величиной весеннего стока из леса, но и его запаздыванием по отношению к стоку талых вод с безлесных участков в результате

более медленного таяния снега и больших так называемых начальных потерь талых вод в лесах. В большинстве лет максимальные расходы воды в малых реках, даже тех, водосборы которых покрыты лесом на 50—60%, формируются на 85—100% за счет стока с безлесных участков. Это приходится учитывать при прогнозах максимальных расходов и уровней воды в реках.

В последние годы структурный анализ речного стока, основанный на материалах наблюдений на небольших водосборах, используется гидрологами Института географии АН СССР⁶ и Гидрометцентра СССР при изучении формирования стока и водного баланса в разных географических условиях и при разработке способов прогнозов речного стока.



Итак, разработка научных основ охраны и рационального использования малых рек, по существу, только начинается. Можно не сомневаться, что привлечение Государственным комитетом СССР по науке и технике к разработке этой проблемы специалистов разного профиля позволит в ближайшие годы пересмотреть некоторые существующие взгляды на охрану и использование малых рек и предложить новые, более научно обоснованные методы. Однако сейчас уже, например, ясно, что существенно должно быть изменено положение с так называемыми водоохранными лесами, которые пока размещаются в основном вдоль средних и крупных рек и поэтому не полностью выполняют свою роль. Должны быть четко отрегулированы правила землепользования в бассейнах малых водотоков. Имеющиеся исследования показывают, что распашка земель может производиться не более чем на 40% площади водосбора. Эта цифра должна быть уточнена и узаконена в соответствии с зональными и местными особенностями. Большая роль в этой работе должна принадлежать не только водоохранным органам Министерства мелиорации и водного хозяйства СССР и республик, Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды, но также и организациям Министер-

ства сельского хозяйства СССР и республик, ведающим вопросами землепользования и охраны почв от эрозии.

По-прежнему значительный вклад в дело охраны малых рек будет принадлежать, по-видимому, таким общественным организациям, как Географическое общество СССР, Всероссийское общество охраны природы, постоянный Межреспубликанский комитет по проблемам бассейна р. Десны и комитеты по другим речным бассейнам. Число и роль таких комитетов, по-видимому, будет расти. Назрела, например, необходимость создания Комитета по проблемам бассейна р. Москвы, состоящего из сотен мелких рек, на берегах которых живет более 10 млн чел. В стадии организации находится Комитет по проблемам бассейна р. Оки. Большинство из этих вопросов рассматривалось на прошедшей в июне 1981 г. Всероссийской научной конференции «Проблемы рационального использования ресурсов малых рек».

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

ВОПРОСЫ ГЕОГРАФИИ. Сб. 118. Малые реки. М.: Мысль, 1981.

РЕПРЕЗЕНТАТИВНЫЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ БАСЕЙНЫ. Международное руководство по исследованиям и практике. Л.: Гидрометеиздат, 1981.

ФОРМИРОВАНИЕ ВОДНОГО БАЛАНСА ТЕРРИТОРИИ (по данным географо-гидрологических исследований). М.: Наука, 1980.

ОХРАНА ВОДНОЙ СРЕДЫ. М.: Московский рабочий, 1978.

Доманицкий А. П., Дубровина Р. Г., Исаева А. И. РЕКИ И ОЗЕРА СОВЕТСКОГО СОЮЗА (справочные данные). Л.: Гидрометеиздат, 1971.

К ВОПРОСУ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАЛЫХ РЕК СОВЕТСКОГО СОЮЗА. М.: Изд-во АН СССР, 1940.

⁶ Коронкевич Н. И. Зональная структура стока на территории Русской равнины и ее изменение под влиянием мероприятий земледела. — В сб.: Формирование водного баланса территории (по данным географогидрологических исследований). М.: Наука, 1980, с. 69.

Квантовая электродинамика сверхсильных полей

В. С. Попов



Владимир Степанович Попов, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник Института теоретической и экспериментальной физики. Основные работы — в области квантовой механики, атомной и ядерной физики. В последние годы занимается вопросами квантовой электродинамики в сильных внешних полях.

Исследование свойств вещества в экстремальных условиях (высокие и низкие температуры или давления, интенсивные внешние поля и т. д.) всегда представляло огромный интерес для физики и других наук о природе. Многие физические явления были открыты только благодаря продвижению в ранее недоступную область параметров.

В последние годы открылась новая возможность проверить в экстремальных условиях квантовую электродинамику (КЭД) — теорию, описывающую электромагнитное взаимодействие элементарных частиц. Интенсивность этого взаимодействия характеризуется безразмерной константой связи $\alpha = e^2/\hbar c \approx 1/137$, малость которой позволяет использовать при расчете физических эффектов теорию возмущений¹. В этом случае получается ряд по степеням α , в котором обычно можно ограничиться несколькими первыми членами. Вычисление последовательных членов этого ряда весьма сложно, но, в принципе, выполнимо. Для этого существует детально разработанная техника — метод диаграмм Фейнмана.

Важно подчеркнуть, что исторически КЭД была первым (а долгое время и единственным) успешным примером квантовой теории поля, где для любого эффекта можно получить физически осмысленный результат, не содержащий бесконечно больших величин. Многие фундаментальные понятия и методы теории поля, без которых немислимо было бы ее развитие (в частности, появление квантовой хромодинамики — современной теории сильных взаимодействий), впервые возникли именно в КЭД.

Экспериментальная проверка квантовой электродинамики всегда вызывала большой интерес у физиков, и сейчас, несмотря на то что многочисленные эксперименты вновь и вновь подтверждают справедливость КЭД, такая проверка не теряет своей актуальности. До сих пор она велась в двух направлениях.

Во-первых, это прецизионные опыты при низких энергиях взаимодействующих частиц, когда с высокой точностью измеряются малые поправки к таким величинам, как, например, аномальный магнитный момент электрона и мюона, лэмбовский сдвиг уровней.

Появление ускорителей на встречных пучках позволило провести эксперименты и при высоких энергиях. В этих опытах проверялась справедливость закона электромагнитного взаимодействия (релятиви-

¹ Величину α часто называют постоянной тонкой структуры. Это связано с тем, что впервые α вошла в физику при рассмотрении тонкой структуры атомных спектров (А. Зоммерфельд, 1916 г.).

стского обобщения закона Кулона для точечных частиц) на весьма малых, вплоть до $2 \cdot 10^{-16}$ см, расстояниях. И здесь никаких отклонений от предсказаний КЭД обнаружено не было².

В экспериментах, о которых шла речь, интенсивность электромагнитного поля очень мала. О том, что же происходит, если частица попадает в интенсивное внешнее поле, когда при расчетах уже нельзя пользоваться теорией возмущений, и пойдет речь в этой статье. Но прежде...

НЕМНОГО ИСТОРИИ

Изменение состояния квантовой частицы со спином $1/2$ (электрона, мюона и др.) описывается релятивистским волновым уравнением Дирака, которое было предложено им в 1928 г.³ Оно позволило объяснить многие свойства электрона, известные к тому времени из атомной физики. Его решение для электрона, движущегося в кулоновском поле ядра, дало возможность получить более точное (по сравнению с известной формулой Бальмера) выражение для уровней энергии электрона, включающее так называемое тонкое расщепление уровней с главным квантовым числом n на n подуровней с разными значениями полного момента количества движения электрона j . Относительная величина этого расщепления для атома водорода весьма мала ($\sim 10^{-5}$), но быстро возрастает с ростом заряда ядра Z .

Однако, наряду с очевидными успехами, в интерпретации некоторых следствий уравнения Дирака встретились определенные трудности. Так, оказалось, что оно имеет решения не только с положительной, но и с отрицательной энергией. Например, для свободного электрона, т. е. движущегося в отсутствие электромагнитных полей, соотношение между энергией и импульсом неоднозначно: $\varepsilon = \pm \sqrt{p^2 + m^2}$, где p — импульс электрона⁴. Это означает, что энергия свободного электрона ε может быть либо больше m (так называемый верхний континуум $m \leq \varepsilon < +\infty$), либо меньше $-m$ (нижний континуум $-\infty < \varepsilon \leq -m$).

Вообще говоря, отрицательные значения энергии лишены физического смысла, и в классической физике их можно было не рассматривать. Действительно, энергия частицы при классическом рассмотрении должна меняться непрерывно, поэтому частица не может перейти из состояния с положительной энергией в состояние с отрицательной энергией, если они разделены энергетической «щелью» шириной $2m$. А в квантовой механике энергия электрона может изменяться скачком, поэтому так просто отбросить отрицательные решения невозможно. Однако вскоре выяснилось, что появление таких решений является отнюдь не недостатком, а огромным успехом новой теории. Дирак предложил следующую интерпретацию отрицательных уровней энергии: все такие состояния заполнены электронами и образуют физически ненаблюдаемый фон (его называют дираковским морем, или вакуумом). На первый взгляд может показаться, что из-за дираковского моря, заполненного бесконечным числом электронов, в каждой точке пространства должна быть бесконечная плотность отрицательного заряда и бесконечная плотность отрицательной энергии. Однако Дирак с гениальной смелостью разрешил эту проблему: эти две ненаблюдаемые отрицательные бесконечности просто надо принять за новое начало отсчета соответствующих физических величин.

В то время как само дираковское море ненаблюдаемо, изменения в нем можно обнаружить на опыте. Пусть, например, мы каким-то образом удалим из него электрон с импульсом \vec{p} и энергией $-\sqrt{m^2 + p^2}$. Очевидно, что в таком случае дираковское море с недостающим электроном («дыркой») будет иметь относительно выбранного нами начала отсчета заряд $+e$, импульс $-\vec{p}$ и положительную энергию $\sqrt{m^2 + p^2}$. Оказывается, что такая дырка будет вести себя как обычная частица с такими же характеристиками. Так в физику было введено понятие «античастица». Вскоре позитрон — античастица электрона — был обнаружен в космических лучах. Это было безусловным подтверждением теории Дирака.

На первый взгляд кажется, что электроны и позитроны в такой картине описываются совсем по-разному, однако сейчас мы знаем, что теорию можно переформулировать таким образом, что описание будет полностью симметричным, но математически полностью эквивалентным дираковскому. Такой способ описания

² О последних экспериментах такого рода см.: Смолдырев М. А. Квантовая электродинамика на малых расстояниях.— Природа, 1980, № 9, с. 74.

³ Об истории создания релятивистского волнового уравнения см.: Дирак П. Развитие квантовой теории.— Природа, 1972, № 3, с. 68.

⁴ В дальнейшем полагаем, как это принято в теоретической физике, $\hbar = c = 1$; m — масса электрона.

обычно используется в КЭД при расчетах по теории возмущений, здесь же для наглядности нам будет более удобен старый «язык» теории Дирака.

Вернемся теперь к электронам с положительной энергией. Для электрона, находящегося в кулоновском поле (например, в поле точечного ядра с зарядом Z), уравнение Дирака имеет точное решение, которое прекрасно описывает спектр атома водорода ($Z=1$) и водородоподобных ионов ($Z=1, 2, \dots$). Для основного уровня ($n=1, j=1/2$) это решение имеет вид:

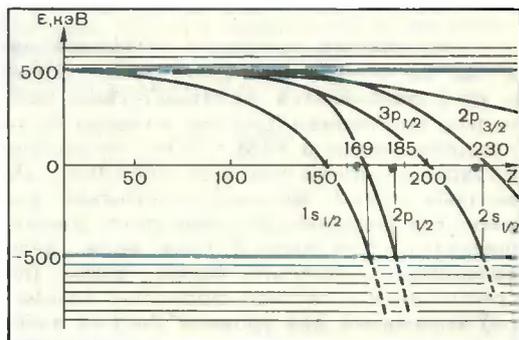
$$E_0 = m\sqrt{1 - (Z\alpha)^2}, \quad \alpha \approx 1/137.$$

При $Z\alpha < 1$, т. е. для ядра с зарядом, меньшим 137, никаких трудностей не возникает. А теперь пределаем мысленный эксперимент: рассмотрим «сверхтяжелые» ядра⁵ — с $Z > 137$. Сразу видно, что для таких ядер формула дает физически бессмысленный результат — энергия электрона в поле такого ядра становится мнимой. Поэтому иногда даже высказывалось предположение, что $Z=137$ есть верхняя граница таблицы Менделеева. Появление комплексных энергий происходит и при рассмотрении произвольного состояния с квантовыми числами (n, j) , когда $Z\alpha > j + 1/2$.

Оказалось, что в появлении таких решений повинна чрезмерная идеализация задачи, а именно: пренебрежение конечными размерами ядра. Это было отмечено И. Я. Померанчуком и Я. А. Смородинским в их работе 1945 г.

В поле ядра конечного радиуса поведение уровней энергии системы уже иное. При увеличении Z энергия уровня уменьшается, но, в отличие от случая точечного ядра, достигнув значения $E=0$, продолжает уменьшаться и становится отрицательной. Для некоторого заряда Z , который называют критическим ($Z_{кр}$), она достигает значения $-\pi$ (границы нижнего континуума). Померанчук и Смородинский дали оценку для $Z_{кр}$, но она оказалась завышенной. Более точные расчеты энергии уровней для системы с $Z > Z_{кр}$ были выполнены в 1958 г. Ф. Вернером и Дж. Уилером (США), а в 1961 г. В. В. Ворон-

ковым и Н. Н. Колесниковым. Затем долгое время к этой задаче не возвращались. Лишь в последние десять лет вопрос о физических явлениях, происходящих при $Z > Z_{кр}$, вновь привлек внимание физиков и стал детально исследоваться. И тут были теоретически предсказаны довольно экзотические эффекты, экспериментальное наблюдение которых представляет большой интерес и на современном уровне развития ускорительной техники вполне доступно.



Изменение энергии ϵ уровней системы с увеличением заряда ядра Z . Случайное вырождение (совпадение энергии уровней с разными квантовыми числами), обусловленное спецификой кулоновского поля, при $Z\alpha > 1$ полностью снимается: например, энергии уровней $2s_{1/2}$ и $2p_{1/2}$ значительно различаются. Значения Z , при которых дискретные уровни системы пересекают границу нижнего континуума, называют критическим зарядом [для трех уровней — $1s_{1/2}$, $2p_{1/2}$ и $2s_{1/2}$ — они обозначены цветными точками на оси Z].

ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЯДРАХ

Эффекты, о которых пойдет речь, происходят, когда дискретный уровень электронного спектра опускается в нижний континуум, т. е. при заряде ядра, большем критического. Величина $Z_{кр}$ зависит от номера уровня, радиуса ядра (r_N) и, вообще говоря, от распределения электрического заряда в ядре. Для основного уровня $1s$ сферических ядер, не окруженных электронными оболочками — «голых» ядер, с однородным распределением заряда и $r_N = r_0 A^{1/3}$ (A — атомный номер, $r_0 = 1,2 \cdot 10^{-11}$ см) теоретические расчеты дают значение $Z_{кр} = 169$. Для следующих уровней критический заряд равен 185 (уровень $2p_{1/2}$) и 230 (уровень $2s_{1/2}$)....

⁵ Элементов с таким атомным номером пока не наблюдали; последний из открытых элементов имеет атомный номер 107 (Природа, 1976, № 8, с. 131). Наиболее смелые предположения об островах ядерной стабильности сейчас не идут дальше $Z=114$ и 126 . О перспективах синтеза элементов с большим атомным номером см.: Оганесян Ю. Ц. На пути к сверхтяжелым. — Природа, 1977, № 6, с. 8.

Расчеты показывают, что эти значения мало чувствительны к деталям распределения заряда внутри ядра.

Рассматривались различные эффекты, которые могут изменить величину $Z_{кр}$. Наиболее подробные расчеты приводят к значению $Z_{кр} = 173$ (для основного уровня нейтрального атома, в котором ядро окружено электронными оболочками). Это ненамного отличается от $Z_{кр} = 169$, полученного для голго ядра.

Что же будет, когда заряд превысит критическое значение? Какие физические явления при этом произойдут?

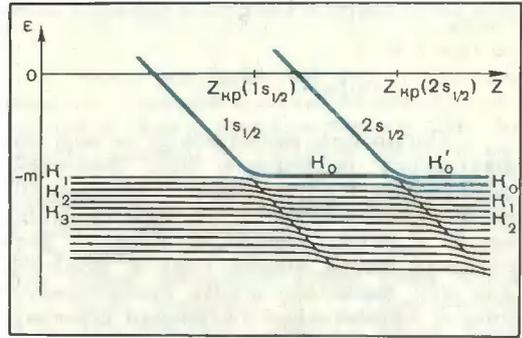
Пусть К-оболочка (т. е. основной атомный уровень $1s$) не заполнена электронами — ядро голое. С ростом Z уровень опускается и при $Z = Z_{кр}$ достигает границы нижнего континуума.

Раньше мы считали, что все уровни дираковского моря уже заполнены электронами, но теперь к ним присоединился еще один — незаполненный. Такой уровень в дираковском море — это, как мы уже говорили, дырка — позитрон. Если Z меняется достаточно быстро, что как раз соответствует реальным условиям, то пространственная локализация этой дырки описывается волновой функцией, очень похожей на волновую функцию уровня при $Z > Z_{кр}$ (вблизи $Z_{кр}$).

Первоначально дырка находится вблизи ядра, затем ее место занимает электрон из дираковского моря, находившийся несколько дальше от ядра, а дырка попадает на его место и т. д. В результате процесс выглядит как движение дырки от ядра и, в конечном счете, как движение позитрона, который вылетает на бесконечность (т. е. на большое расстояние от ядра) и может быть зарегистрирован как свободная частица. (На самом деле, поскольку речь идет об уровне $1s$, на котором, вообще говоря, располагаются 2 электрона с противоположно направленными спинами, переход этого уровня в нижний континуум приводит к образованию двух позитронов.) Описанный процесс мы назовем спонтанным рождением позитронов. Разумеется, при этом не нарушается закон сохранения заряда. Ведь «новое» море содержит лишний уровень, который, после того как дырка ушла на бесконечность, тоже занят электронами. Если раньше мы считали, что заряд моря равен нулю, то теперь он равен $-2e$, причем этот заряд локализован вблизи ядра, так как именно там вначале был незаполненный уровень. Поляризованное ядром с зарядом $Z > Z_{кр}$ дираковское море называют

иногда «сверхсвязанным состоянием». Его заряд полностью компенсирует заряд вылетевших на бесконечность позитронов. Если увеличивать и дальше заряд ядра, то сверхсвязанное состояние будет оставаться стабильным до тех пор, пока дальнейшее увеличение Z не приведет к тому, что следующий дискретный уровень с $\epsilon > 0$ опустится до границы нижнего континуума, и тогда весь процесс повторится.

Заметим, что если бы в нашем



возникновению дырки (незаполненного уровня) в дираковском море при увеличении заряда ядра Z . Для наглядности система помещена в ящик конечных размеров, в результате чего ее спектр уровней становится дискретным, и можно проследить за судьбой каждого уровня; здесь K_0 — уровни ненаблюдаемого дираковского моря. Состояния K_0 и K'_0 формально являются «наследниками» дискретных уровней $1s_{1/2}$ и $2s_{1/2}$ в области $\epsilon < -m$. Если изменение Z происходит с конечной скоростью, то дырка, «перескакивая» с уровня на уровень, движется вдоль пунктирной прямой.

мысленном эксперименте увеличивался заряд ядра, у которого К-оболочка занята электронами, то при переходе через $Z_{кр}$ испускания позитронов не произошло бы. В этом смысле атом с ядром, большим $Z_{кр}$, мало отличается от обычных атомов.

МЕТОД ЭФФЕКТИВНОГО ПОТЕНЦИАЛА

Для более детального анализа тех эффектов, которые были описаны, можно воспользоваться так называемым методом эффективного потенциала⁶. Он заключается

⁶ Попов В. С. — ЖЭТФ, 1970, т. 59, с. 965; Он же. — Ядерная физика, 1971, т. 14, с. 458.

в замене релятивистского уравнения Дирака более простым и привычным уравнением Шредингера, в которое в качестве собственных значений энергии вводится эффективная энергия $E = (\epsilon^2 - m^2)/2m$ (ϵ — действительное значение энергии уровня), а вместо исходного потенциала $V(\vec{r})$ — эффективный потенциал $U(\vec{r})$. Связь между эффективным и исходным потенциалами, вообще говоря, довольно сложная, при этом $U(\vec{r})$ зависит не только от $V(\vec{r})$, но и от энергии уровня ϵ и углового момента j . Если ядро точечное, т. е. $V(\vec{r}) = -\frac{Z\alpha}{r}$, а энергия электрона близка к $-m$, то при $j=1/2$

$$U(\vec{r}) = \frac{Z\alpha}{r} - \frac{(Z\alpha)^2 - 3/4}{2r^2}.$$

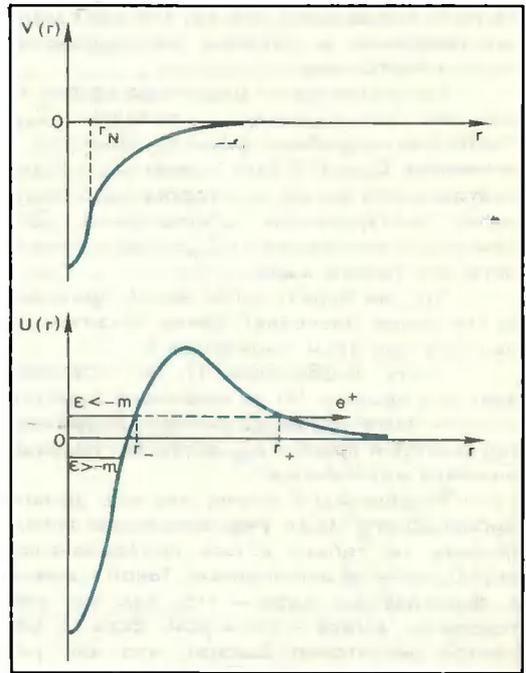
Посмотрим внимательно на вид эффективного потенциала $U(\vec{r})$. Электрон, движущийся в поле с таким потенциалом, на малых расстояниях от ядра притягивается к нему. Однако на больших расстояниях, когда второй член в формуле для $U(\vec{r})$ перестает играть существенную роль и эффективный потенциал становится положительным, электрон отталкивается от ядра.

Покажем, что такой вид эффективного потенциала следует из общих принципов теории относительности и квантовой механики.

Как известно, энергия и импульс свободной частицы в релятивистской механике связаны соотношением $p^2 = \epsilon^2 - m^2$ (напомним, что у нас $c=1$). Если использовать введенную выше эффективную энергию E , то это уравнение можно записать в той же форме, что и в нерелятивистской механике, т. е. $p^2 = 2mE$.

Для состояний, близких к границе континуума (безразлично верхнего или нижнего), $E = |\epsilon| - m$, причем $E < 0$ для состояний дискретного спектра, $E > 0$ для состояний континуума. Если электрон находится в кулоновском поле, то в приведенной выше формуле $p^2 = \epsilon^2 - m^2$ надо заменить ϵ на $\epsilon_{кин}$, где $\epsilon_{кин} = \epsilon - V$ (ϵ — по-прежнему полная энергия частицы, а V — ее потенциальная энергия в кулоновском поле, равная $-\frac{Z\alpha}{r}$). Таким образом,

для квадрата импульса мы получаем $p^2 = (\epsilon - V)^2 - m^2$. Нас будет интересовать радиальное движение, поэтому мы представим p^2 как сумму $p_{рад}^2 + p_{угл}^2$. Для бесспиновой частицы с орбитальным моментом l $p_{угл}^2 = \frac{l(l+1)}{r^2}$, и мы получаем:



Вид исходного потенциала $V(\vec{r})$ (вверху), описывающего взаимодействие электрона с ядром конечного радиуса r_N и эффективного потенциала $U(\vec{r})$ такой системы при Z , близких к $Z_{кр}$ (внизу). Из рисунка видно, что для уровней с положительной энергией E [что соответствует $\epsilon < -m$] существует возможность туннельного перехода дырки через потенциальный барьер в области $r_- < r < r_+$. Это и есть спонтанное рождение позитрона сверхтяжелым ядром.

$$p_{рад}^2 = (\epsilon - V)^2 - \frac{l(l+1)}{r^2} - m^2.$$

Введем теперь эффективный потенциал радиального движения $U(\vec{r})$, определив его так, чтобы выполнялось нерелятивистское соотношение

$$p_{рад}^2 = 2m(E - U).$$

Сравнивая две наши формулы для $p_{рад}^2$, мы видим, что

$$U(\vec{r}) = \frac{\epsilon V}{m} - \frac{V^2}{m} + \frac{l(l+1)}{2mr^2}.$$

До сих пор мы не учитывали, что электрон обладает спином. Его последовательное введение требует сложных вычислений, однако для качественных выводов можно просто заменить орбитальный момент l на полный j .

С помощью этого выражения легко описать поведение электрона на малых ($r \rightarrow 0$) и больших ($r \rightarrow \infty$) расстояниях от

ядра. Эффективный потенциал на малых расстояниях имеет вид

$$U(\vec{r}) \approx [j(j+1) - (Z\alpha)^2] / 2mr^2.$$

Электрон, локализованный в очень малой области r , будет релятивистским с $p \gg m$ и тогда согласно соотношению неопределенностей его импульс должен быть примерно равен $1/r$. Эффективная энергия в таком случае есть

$$E = p^2/2m + U(\vec{r}) \approx [(j+1/2)^2 - (Z\alpha)^2] / 2mr^2,$$

и мы имеем две предельные ситуации: при $r \rightarrow 0$ E либо неограниченно растет ($Z\alpha < j+1/2$), либо неограниченно уменьшается ($Z\alpha > j+1/2$).

В первом случае получается, что электрону невыгодно находиться слишком близко от ядра. Во втором случае его энергия уменьшается тем быстрее, чем ближе он к точечному ядру; низший уровень электрона вообще отсутствует (в квантовой механике эту ситуацию называют падением на центр). В этом и заключается причина «катастрофы», возникающей при движении электрона в поле точечного ядра, о которой мы говорили в начале статьи. Перестает быть применимой идеализация точечного ядра; лишь введение конечных размеров ядра, когда заряд «размазан» в некоторой области пространства, позволяет получать физически разумные результаты — у электрона появляется состояние с низшей энергией.

Рассмотрим теперь, как ведет себя потенциал $U(\vec{r})$ для электронов с положительной и отрицательной энергией при различных g .

В области больших g в выражении для $U(\vec{r})$ доминирует член, линейный по ε : $-\frac{Z\alpha\varepsilon}{mr}$. Отсюда следует, что на больших расстояниях знак эффективного потенциала зависит от знака энергии ε . Для всех известных атомов ($Z \lesssim 100$) энергия связи $|e| - m$ даже наиболее глубокого уровня меньше массы покоя электрона, поэтому можно считать $\varepsilon/m \approx 1$. В этом случае эффективный потенциал отличается от исходного только включением центробежной энергии $\frac{l(l+1)}{2mr^2}$.

С ростом Z основной уровень системы понижается, и в конце концов его энергия ε становится отрицательной. В результате меняется знак первого члена в выражении для эффективного потенциала $U(\vec{r})$. Теперь уже $U(\vec{r})$ описывает притяжение лишь при малых g (из-за члена

$-\sqrt{2m}$), а при $g \gg 1/m$ возникает отталкивание, т. е. мы получаем, как принято говорить в квантовой механике, потенциал с барьером. Когда Z увеличивается до значений, больших $Z_{кр}$, дискретный уровень опускается в нижний континуум — его энергия ε становится меньше $-m$ (в эффективная энергия $E > 0$). Такой уровень перестает быть стационарным, но из-за барьера он распадается медленно. Его распад — это и есть то движение дырки от ядра, о котором уже шла речь.

РОЖДЕНИЕ ПОЗИТРОНОВ ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ ТЯЖЕЛЫХ ЯДЕР

Чтобы экспериментально наблюдать явления, о которых шла речь выше, нужно иметь ядра с зарядом равным 170, что выходит далеко за пределы области известных в настоящее время стабильных ядер. Однако электрические поля соответствующей величины могут быть достигнуты в процессе столкновения двух тяжелых ионов, например голых ядер урана (это было отмечено С. С. Герштейном, Я. Б. Зельдовичем в 1969 г.). Когда такие ионы сближаются до расстояний, которые намного меньше комптоновской длины волны электрона $1/m$ (она равна 386 Фм, $1 \text{ Фм} = 10^{-13} \text{ см}$), на него действует поле суммарного заряда сталкивающихся ядер (в случае урана это $Z=184$, что превышает, как мы уже знаем, критический заряд для основного уровня такой системы).

Ввиду большой массы ядер, движение их можно считать классическим. Испытывая кулоновское отталкивание⁷, ядра движутся по гиперболом, причем кинетическая энергия, необходимая для сближения ядер на расстоянии $R \ll 1/m$, определяется законом сохранения энергии: $E_{кин} = (Ze)^2/R$ (Z — заряд каждого из сталкивающихся ядер). При уменьшении R электрон начинает чувствовать притяжение обоих ядер, вследствие чего его уровень

⁷ Для тяжелых ядер оно очень велико, поскольку возрастает пропорционально Z^2 . Например, два ядра урана, находящиеся на расстоянии $R=20 \text{ Фм}$, отталкиваются с силой $F=(Ze^2)/R^2 \approx 500 \text{ кг}$. Ускорения при этом достигают фантастической величины 10^{30} см/с^2 . Поэтому при столкновении тяжелых ядер не может образоваться стабильная система типа молекулярного иона водорода H_2^+ . Принято говорить, что в момент сближения ядер на расстояние, меньшее комптоновской длины электрона, образуется «квази-молекула».

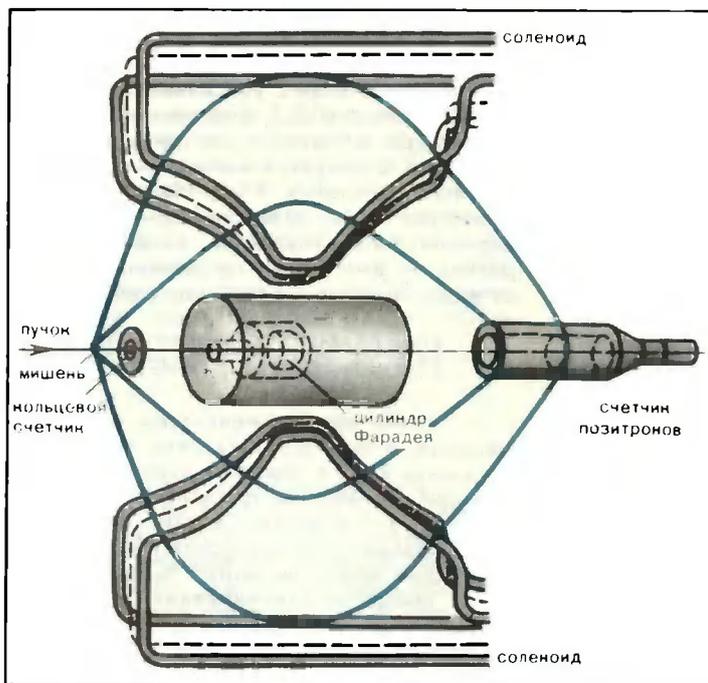


Схема опытов по наблюдению позитронов при столкновении тяжелых ядер. Мишень бомбардируется пучком тяжелых ионов, а образовавшиеся при этом позитроны фокусируются магнитным полем соленоида на сцинтиляционный счетчик (траектории позитронов показаны цветом). Кольцевой счетчик, расположенный непосредственно за мишенью, регистрирует ионы, рассеянные в определенном интервале углов (1).

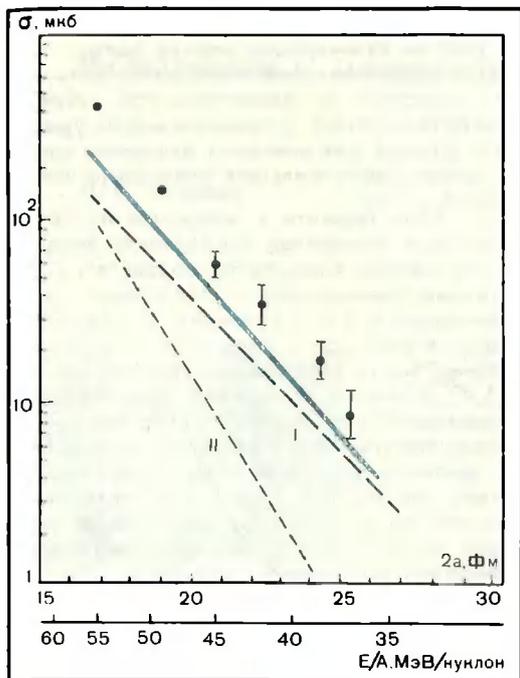
энергии понижается, а на расстояниях, меньших некоторого критического ($R_{кр}$)⁸, переходит в нижний континуум — происходит спонтанное рождение позитронов. Значению $R_{кр}$ соответствует пороговое значение кинетической энергии сталкивающихся ядер $E_{пор} = 1,35 \cdot 10^4 (Z\alpha)^2 / R_{кр}$ (расстояние измеряется в ферми, энергия в МэВ). Относительная скорость ядер при этом все еще нерелятивистская: например, для ядер урана ($Z=184$, $R_{кр} \approx 30$ Фм, $E_{пор} = 700$ МэВ) она равна примерно одной десятой скорости света.

Вычисление сечения спонтанного рождения позитронов при сближении тяжелых ядер, энергетического спектра позитронов, их углового распределения и т. д. (т. е. величин, которые измеряются на опыте) — математически очень сложная задача. Аналитически она вообще не решается, а ее численное решение в настоящее время получено двумя группами исследователей: В. Грейнер, Б. Мюллер, И. Рафельски (ФРГ) и В. Лисин, М. Маринов и автор (ИТЭФ, Москва). Не вдава-

ясь в детали этих расчетов, приведем лишь некоторые качественные соображения относительно зависимости эффективного сечения σ описываемого процесса от $R_{кр}$, а следовательно, от заряда сталкивающихся ядер и кинетической энергии $E_{кин}$.

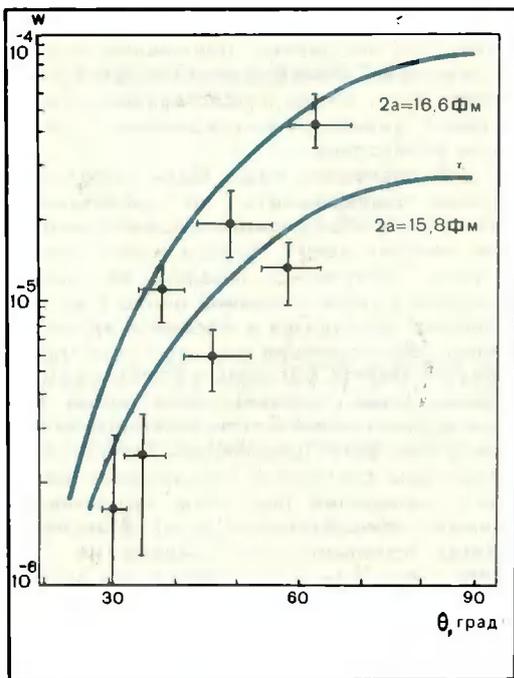
При кинетических энергиях, лишь немного превышающих пороговое значение, σ экспоненциально мало, т. к. пронцаемость потенциального барьера для медленных позитронов обращается в нуль. Однако с ростом $E_{кин}$ сечение быстро растет. Действительно, для опускания уровня в нижний континуум и спонтанного рождения позитрона нужно, чтобы ядра сблизилась на расстояние, меньшее критического. Того же порядка и прицельный параметр рассеяния ϱ , поэтому площадь диска, куда должно попасть ядро, пропорциональна $R_{кр}^2$. Чтобы получить сечение процесса, эту величину надо еще умножить на вероятность образования позитрона за то время, пока $R < R_{кр}$. Эта вероятность по порядку величины равна отношению времени столкновения τ к характерному для КЭД времени $\tau_0 = \hbar / mc^2$. Для движения ядер под действием кулоновского поля, так же, как и для движения планет под действием силы всемирного тяготения, τ пропорционально $R^{3/2}$. В самом деле, в обоих случаях сила

⁸ Значение $R_{кр}$ может быть получено лишь из численного решения уравнения Дирака для задачи двух центров, т. е. с потенциалом $-(\frac{Z_1 e}{r_1} + \frac{Z_2 e}{r_2})$. Аналитически она не решается.



Полное сечение процесса образования позитронов σ при столкновении ядер свинца как функция расстояния наименьшего сближения ядер при лобовом столкновении $2a$ (внизу дана кинетическая энергия ядер в расчете на нуклон). Точки — результаты экспериментов; пунктирные прямые — теоретически рассчитанные сечение вынужденного рождения позитронов (I) и другие фоновые эффекты (II). Цветная линия есть сумма кривых I и II, т. е. полный выход позитронов, рассчитанный теоретически.

убывает обратно пропорционально квадрату расстояния, однако планеты притягиваются к Солнцу, двигаясь периодически по эллипсам, а ядра отталкиваются друг от друга и движутся по гиперболам. Для планет τ — это их период обращения вокруг Солнца, а зависимость $\tau \sim R^{3/2}$ есть не что иное, как третий закон Кеплера. Для ядер в качестве τ естественно принять время, в течение которого $R < R_{кр}$. Зависимость $\tau \sim R^{3/2}$ остается при этом в силе. Поскольку $R \approx R_{кр}$, сечение образования позитронов примерно равно $\pi R_{кр}^2 \cdot \tau / T_0$ и в результате пропорционально $R_{кр}^{1/2}$. Ввиду того что $R_{кр}$ возрастает вместе с увеличением Z (вот некоторые оценки, полученные для точечных голых ядер: $Z=184$ ($U+U$) — $R_{кр} \approx 35$ Фм, $Z=190$ ($U+Cf$) — $R_{кр} \approx 46$ Фм, $Z=196$ ($Cf+Cf$) — $R_{кр} \approx 60$ Фм), сечение образования позитронов при сближении ядер быстро растет при переходе к более тяжелым ядрам.



Вероятность рождения позитронов w при рассеянии сталкивающихся ядер Pb—U и Pb—Pb (верхняя кривая) на угол θ (в системе центра масс). Точки — результаты экспериментов с учетом ошибок; цветные линии — теоретически рассчитанные значения w , полученные В. Грейнером с сотрудниками (ФРГ). Для каждой кривой расстояние наименьшего сближения ядер при лобовом столкновении ($2a$) считалось фиксированным.

Следует отметить, что рождение позитронов может происходить и в области $R > R_{кр}$. Дело в том, что при своем движении каждое из ядер находится под действием электрического поля другого, которое из-за конечной скорости ядер является переменным с характерной частотой изменения $\omega \sim v/R_{кр} \ll m$. Для рождения электрон-позитронных пар из вакуума энергии кванта такого поля недостаточно (она должна быть больше удвоенной энергии покоя электрона). Но в присутствии ядра с достаточно большим Z , уровень энергии которого значительно понижен, образование пар становится возможным. Для этого энергия кванта должна превышать лишь разность между энергией основного уровня системы и границей нижнего континуума, а в сверхтяжелом

тронов при сближении ядер быстро растет при переходе к более тяжелым ядрам. Следует отметить, что рождение позитронов может происходить и в области $R > R_{кр}$. Дело в том, что при своем движении каждое из ядер находится под действием электрического поля другого, которое из-за конечной скорости ядер является переменным с характерной частотой изменения $\omega \sim v/R_{кр} \ll m$. Для рождения электрон-позитронных пар из вакуума энергии кванта такого поля недостаточно (она должна быть больше удвоенной энергии покоя электрона). Но в присутствии ядра с достаточно большим Z , уровень энергии которого значительно понижен, образование пар становится возможным. Для этого энергия кванта должна превышать лишь разность между энергией основного уровня системы и границей нижнего континуума, а в сверхтяжелом

ядре эта разность может быть очень мала. Соответственно понижение порога образования электрон-позитронных пар может быть очень существенным. Такой процесс называют вынужденным рождением позитронов.

В последние годы были выполнены первые эксперименты по наблюдению позитронов, образующихся при столкновении тяжелых ядер⁹. Пучком ионов свинца и урана облучались мишени из металлической фольги толщиной около 1 мг/см^2 (толщина приводится в массовых единицах длины). Возникающие при этом позитроны фокусировались магнитным полем на сцинтилляционный счетчик; ионы урана или свинца, рассеянные в определенном интервале углов, регистрировались специальным кольцевым счетчиком (применение методики совпадения при этом существенно снижает нежелательный фон). В экспериментах использовались мишени из ^{238}U , ^{208}Pb , ^{194}Au , ^{181}Ta и ^{139}La . Когда суммарный заряд сталкивающихся ядер превышал 170, выход позитронов резко возрастал. Это и являлось указанием на то, что включался новый механизм образования позитронов. Поскольку минимальное расстояние сближения ядер в этих опытах превышало 25 Фм, то можно было проверить расчеты лишь для процесса вынужденного рождения позитронов (для систем $\text{Pb} + \text{Pb}$ спонтанное рождение позитронов вообще было невозможно, а в других случаях оно шло в пороговой области, где сечение спонтанного рождения экспоненциально мало). Измеренные на опыте полное и дифференциальное сечения процесса рождения позитронов сравнивались с расчетными значениями этих величин, полученными из решения уравнения Дирака для квазимолекулы $Z_1 Z_2 e$. Экспериментаторы отмечают следующие особенности наблюдавшегося эффекта:

при уменьшении расстояния наименьшего сближения ядер выход позитронов увеличивается, причем в интервале от $5a$ до $3a$ ($2a$ — расстояние наименьшего сближения при лобовом столкновении) он растет экспоненциально;

число позитронов быстро возрастает с ростом суммарного заряда ядер.

Результаты эксперимента, хотя они и относятся к докритической области, свидетельствуют о применимости уравнения Дирака для описания движения частиц в чрезвычайно сильных электромагнитных полях.

Если перейти к мишеням из трансураниевых элементов и увеличить энергию столкновения ядер, то $R_{\text{кр}}$ возрастет, а расстояние наименьшего сближения ядер уменьшится. В этих условиях, по-видимому, удастся наблюдать дополнительное возрастание числа образовавшихся позитронов, т. е., помимо механизма вынужденного рассеяния, включится в действие механизм спонтанного рождения позитронов. С физической точки зрения наблюдение этого процесса наиболее интересно, потому что он не связан со свойствами атомного ядра и теоретически рассчитывается наиболее достоверно.

В заключение подчеркнем, что физические явления, происходящие при переходе дискретных уровней в нижней континуум, вытекают из анализа точных решений уравнений Дирака в области сверхсильных полей. Очень многие теоретические следствия уравнения Дирака уже блестяще подтвердились в эксперименте. В частности, как уже отмечалось, оно хорошо описывает строение атомов всех элементов таблицы Менделеева. Однако известные в настоящее время атомы представляют собой слабосвязанные системы: даже в атоме фермия ($Z=100$) энергия связи К-электрона составляет 142 кэВ, что меньше одной трети его массы покоя. Системы, у которых заряд превышает критический, представляют собой необычные объекты, содержащие электроны с энергией связи, большей массы покоя. Их исследование представляет интерес не только для КЭД, но и для атомной физики.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Brodsky S. J. QUANTUM ELECTRODYNAMICS AND EXOTIC PHENOMENA OF HIGH Z-ELEMENTS. — *Comm. Atom. Molec. Phys.*, 1973, v. 4, p. 109.

Okun L. B. SUPERBOUND ELECTONS. — *Comm. Nucl. Part. Phys.*, 1974, v. 6, p. 25.

Попов В. С. СВЕРХТЯЖЕЛЫЕ АТОМЫ. — *Изв. АН СССР, сер. физич.*, 1977, т. 41, с. 2577.

Мигдал А. Б. ФЕРМИОНЫ И БОЗОНЫ В СИЛЬНЫХ ПОЛЯХ. М.: Наука, 1978.

⁹ Эксперименты проводились на ускорителе тяжелых ионов UNILAC (Дармштадт, ФРГ) — единственной в мире установке, способной ускорять ионы химических элементов вплоть до урана. Заметим, что это не полностью «ободранные» тяжелые ядра — пучков таких ионов пока не получено, поэтому выход позитронов в описываемых экспериментах был снижен на несколько порядков. Однако в настоящее время такая постановка экспериментов является наиболее доступной.

Включения в минералах раскрывают их генезис

Л. С. Пузанов



Лев Сергеевич Пузанов, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Всесоюзного института минерального сырья Министерства геологии СССР, научный куратор по флюориту Министерства геологии СССР. Автор многих работ по геологии флюоритового оруденения и ряда других видов минерального сырья.

Изучая любое рудное месторождение, геологи всегда стремятся выяснить происхождение руды. Образовалась ли она при кристаллизации расплавов, поднявшихся из глубин, или при циркуляции по трещинам минерализованных водных растворов? А может быть, руды возникли при циркуляции газов, отделившихся от магматических расплавов или от водных растворов в результате резкого снижения давления. Наконец, вероятны типы руд, возникшие в результате химических реакций между нагретым водным раствором и окружающей породой. Возможно также, что руды имеют осадочное происхождение, т. е. возникли в морских и озерных водоемах или речных бассейнах. От четкости представлений о генезисе руд зависит оценка промышленных перспектив каждого месторождения и методика его разведки.

КАК ИЗУЧАЮТ ГЕНЕЗИС РУД

Известно свыше 20 методов исследований, позволяющих судить о происхождении минералов, и в частности руд. К наиболее распространенным относится метод, построенный на выявлении сосуществующих, а следовательно, и образовавшихся при одинаковых условиях, минеральных фаз. Он известен под названием метода минеральных ассоциаций.

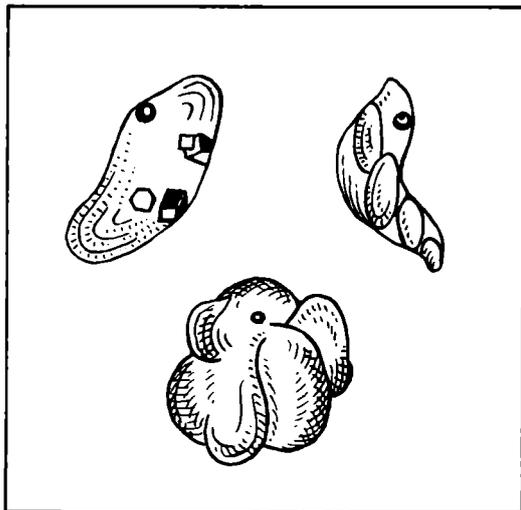
В минералогии широко применяются методы с использованием так называемых геотермометров. Метод прямых геотермометров основан на разном соотношении минеральных фаз (например, калиевого полевого шпата и плагиоклаза) при разных температурах. А все многочисленные методы косвенных геотермометров базируются на принципе взаимной обусловленности химических свойств минерала (включая содержание в нем тех или иных элементов-примесей) и температурных условий его кристаллизации. Этим же целям служат методы, использующие полиморфные превращения минералов (например, превращение α -кварца в β -кварц совершается при температуре 573°C), а также температуры распада твердых растворов, и ряд других методов.

При определении условий минералообразования до сих пор пользуются и методом аналогии, хотя именно этот метод отличается наибольшей субъективностью. Приведем лишь один пример. Согласно методу аналогии, галит, ангидрит и тонкозернистая разновидность флюорита — раувиткит относятся к осадочным минералам лишь потому, что они распространены в осадочных солеродных бассейнах.

На основании приведенных здесь методов, некоторые минеральные ассоциации (например, кальцит-флюоритовую или

кварц-барит-флюоритовую) совершенно однозначно относят к среднетемпературным или даже низкотемпературным образованиям. Эти представления настолько прочно укоренились, что другая точка зрения на происхождение данных минеральных сообществ (скажем, из высокотемпературных расплавов) представляется невероятной.

Но методы термобарогеохимии¹, которыми мы пользовались, изучая условия образования минералов, убедили нас в справедливости именно этих невероятных



Включения в раннем флюорите Больше-Тагинского массива карбонатитов: кристалло-газовое (вверху слева); капельно-газовое (вверху справа); многофазовое (внизу), увелич. в 500 раз.

на первый взгляд выводов. В основе термобарогеохимических методов находятся представления о том, что в минералах при их зарождении и росте консервируются микроскопические порции минералообразующей среды, названные включениями.

Включения могут быть изначально твердыми, затвердевшими, жидкими, газовыми. Для наших целей особенно интересны два первых типа включений.

По соотношению жидких, твердых и газообразных компонентов можно судить об условиях минералообразования. Так, жидкое включение, в котором находится

газовый пузырек объемом до 5% всего объема включения, указывает, что минерал образовался из низкотемпературного гидротермального раствора. Увеличение объема газового пузырька будет свидетельствовать о повышении температуры и давления среды, из которой образовался минерал, — это среднетемпературный и высокотемпературный гидротермальный раствор. А при объеме пузырька газа свыше 50% мы имеем дело с образованием минерала из газовой среды, т. е. с пневматолитовым минералообразованием.

Появление в растворе твердой фазы указывает на избыточные концентрации солей и дальнейшее повышение температуры минералообразования. Если же твердая фаза превышает 50% объема включения, мы можем говорить об образовании минерала из расплава, насыщенного растворами и газами. И, наконец, существует самая высокотемпературная группа твердых включений, представленных кристаллами и затвердевшими каплями магматического расплава.

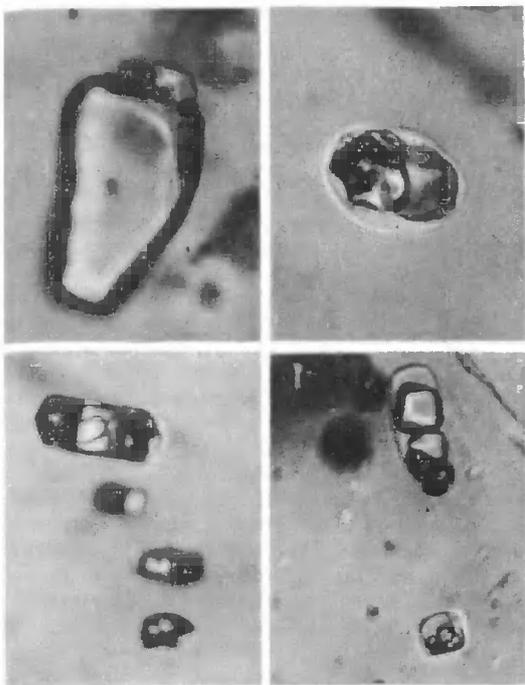
Точную температуру образования минерала можно определить, нагревая включение в специальной термокамере до тех пор, пока оно не перейдет в гомогенное состояние. Температура перехода и есть искомая величина. А чтобы определить температуру приблизительно, достаточно и визуальных наблюдений за агрегатным состоянием включения. Совершенно очевидно, что минерал образовался из расплава, если он содержит включения, 50—90% объема которых составляет твердая фаза.

Использование включений для решения вопросов генезиса минералов в настоящее время представляется наиболее перспективным. Термометрия включений позволила нам накопить материалы, которые существенным образом уточняют наши представления о происхождении многих видов минерального сырья. Благодаря им изменился взгляд на происхождение части флюоритовых руд и карбонатитов, а также некоторых видов железных руд.

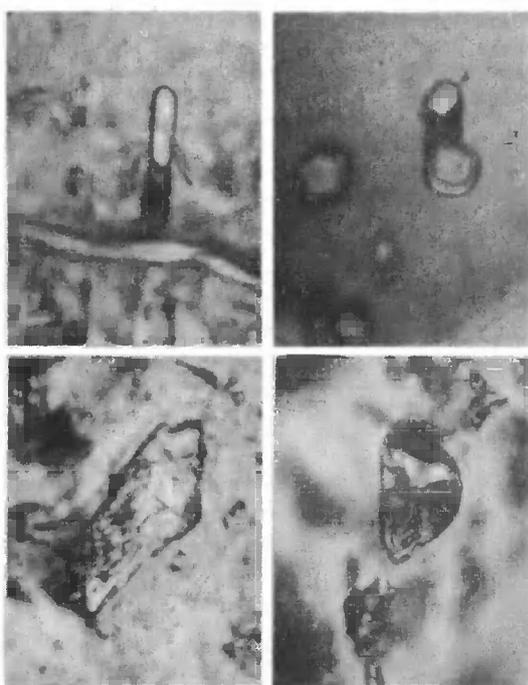
НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ПРОИСХОЖДЕНИЕ КАРБОНАТИТОВ

К карбонатитам относят эндогенные существенно карбонатные породы. Вопрос о генезисе массивов карбонатитов вызывает оживленные дискуссии среди геологов. Одни отстаивают гидротермальную природу карбонатитов, образующихся в результате химического взаимодействия между нагретым раствором и вмещающей

¹ Ермаков Н. П. Термобарогеохимия минералов Земли и космоса. — Природа, 1980, № 5, с. 56.



Включения во флюорите Кара-Сугского барит-флюорит-железородного месторождения: многофазовое (вверху, слева), увел. в 250 раз; позднее многофазовое (вверху, справа), увел. в 400 раз; многофазовые с жидкой углекислотой (внизу), увел. в 320 и 300 раз.



Включения в апатите и карбонате Селигдарского месторождения: трубчатое в апатите (вверху, слева), увел. в 250 раз; капельно-газовое с концентрически зональным карбонатом (вверху, справа), увел. в 500 раз; кристалло-газовое в апатите (внизу, слева), увел. в 200 раз; многофазовое в апатите (внизу, справа), увел. в 800 раз.

породой. Другие, в том числе автор статьи, считают карбонатиты магматическими телами.

Особо остановимся на проблеме происхождения рудоносных карбонатитов, содержащих апатит и флюорит, и попытаемся решить эту проблему на примере нескольких конкретных месторождений.

Больше-Тагнинский массив в Восточных Саянах относится к флюоритоносным карбонатитовым интрузивам и имеет трубообразную форму. Карбонатиты здесь представлены крупнозернистой, среднезернистой и мелкозернистой разновидностями. Причем самые крупные рудные тела сложены мелкозернистыми флюоритоносными карбонатитами.

Геологи, изучавшие флюорит этого месторождения, пришли к заключению, что среднезернистые и крупнозернистые разновидности флюорита образовались в температурном интервале от 90 до 440°С. Данные температуры отвечают представлениям о гидротермально-метасоматическом

происхождении флюоритоносных карбонатитов.

Но при внимательном рассмотрении нам удалось установить, что при такой температуре (90—440°С) гомогенизовались лишь газовой-жидкие включения, содержащие от 5 до 70% газа. Основная же часть включений в мелкозернистых флюоритах гомогенизировалась при температуре от 550 до 670°С, которая соответствует образованию минерала из магматического расплава. Эти включения во флюорите представлены тремя разновидностями. Первая — твердые включения минералов (галит, сильвин, биотит, апатит и др.); вторая — кристалло-газовые включения, в которых количество газа не превышает 3—5%; третья — многофазные включения, состоящие из твердой кристаллической фазы (40—80% объема включения), раствора (10—40%) и газа (5—10%).

Таким образом, флюориты Больше-Тагнинского карбонатитового массива образовались в два этапа — магматический и

послемагматический. В соответствии с этим основные породообразующие минералы карбонатитов имеют магматическое происхождение.

На юге Тувинской АССР в пределах Тувинской впадины залегают своеобразные карбонатиты флюорит-барит-железорудного состава. Происхождение этих карбонатитов тоже достаточно спорно. Одни геологи принимают их за оруденение, образовавшееся в ближайших к поверхности слоях земной коры в результате взаимодействия низкотемпературных растворов с



Включения магматического этапа рудообразования в ангидрите из Селигдарского месторождения: кристалло-газовое (вверху, слева) и многофазовое, увел. в 350 раз.

граносиенитами и окружающими их породами. Другие относят эти карбонатиты к низкотемпературной редкоземельной формации. Попробуем разобраться в происхождении флюорит-барит-железорудных карбонатитов, пользуясь, как и в предыдущем случае, методом термометрии по включениям.

Данные карбонатиты представлены минеральной ассоциацией флюорита, барита, сидерита и гематита. Во флюорите и барите мы обнаружим многочисленные включения, указывающие на образование карбонатитов не из низкотемпературных гидротермальных растворов, а из магматического расплава, имевшего температуру 700—800°С. Такого рода включения подразде-

ляются на три вида: твердые, представленные кристаллами и затвердевшими каплями расплава; многофазовые, содержащие 50—80% твердой фазы, 5—10% раствора, 15—25% жидкой углекислоты и 5—15% раствора; жидкие, состоящие из 80—90% жидкой углекислоты² и 5—15% раствора.

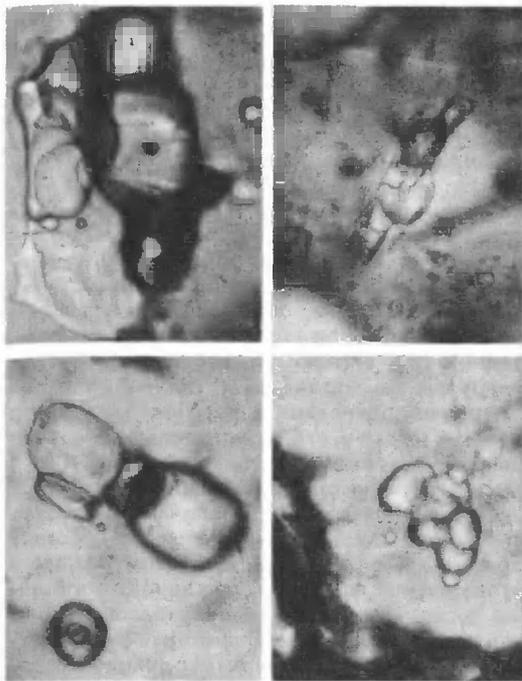
Кроме включений магматического этапа имеются вторичные жидкогазовые включения, содержащие свыше 50% газа, а также газово-жидкие включения, состоящие из раствора (70—80%), твердой фазы (0—20%) и газа (10—20%). Состав вторичных включений показывает, что за магматическим этапом формирования этого месторождения карбонатитов последовали пневматолитовый и гидротермальный.

Разобравшись с генезисом карбонатитов флюорит-барит-железорудного состава, перейдем к вопросу о происхождении апатитоносных карбонатитов. Дискуссия по этому вопросу продолжается уже много лет. Высказывались суждения о метаморфогенном, осадочно-метаморфогенном и пневматолито-гидротермальном происхождении апатитоносных карбонатитов. Доказывался гидротермальный и гидротермально-метасоматический их генезис. Только применение метода термометрии дало возможность выяснить, при каких же условиях образовались апатитоносные карбонатные породы.

Мы изучали апатитоносные карбонатиты из крупнейшего Селигдарского месторождения на Алданском щите. В минеральном составе руд этого месторождения участвуют: кальцит, доломит, апатит, ангидрит, гематит, флогопит, калиевый полевой шпат, кварц и гипс. При этом каждая минеральная фаза соответствует самостоятельному этапу формирования оруденения. В первых четырех минералах и во флогопите мы обнаружили включения, указывающие, что все эти минералы образовались из магматического расплава. Остальные минеральные формы возникли из пневматолито-гидротермальных растворов.

Если собрать все минералы воедино, то на Селигдарском месторождении обнаружены следующие типы включений: твердые минералы и затвердевшие капли расплава; кристаллогазовые и многофазовые включения; газово-жидкие включения.

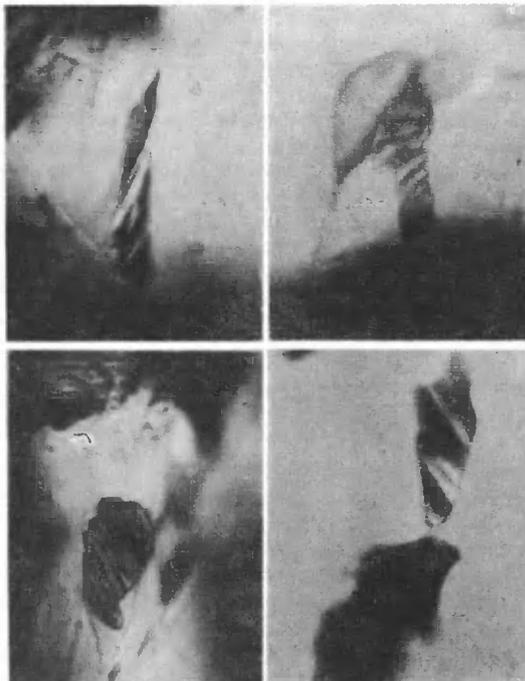
² Следует отметить, что большое количество углекислоты во включениях магматического этапа указывает на взрывные явления в магматическом очаге, сопровождавшиеся брекчированием (дроблением) пород.



Многофазовые включения расплавно-интрузивного этапа рудообразования на Самодумовском флюоритовом месторождении: многофазовые (вверху и внизу, слева), увел. в 500, 250 и 300 раз; затвердевшая капля расплава (внизу, справа), увел. в 300 раз.

Наиболее ранние включения расплава мы отметили во флюопите и апатите. В первом из них заключены трубчатые включения, состоящие из апатитовой и гематитовой частей. Температура образования флюопита и апатита определяется температурой плавления этих включений. Она составляет 1080—1150°C.

Особенно многочисленны многофазовые включения в апатите. Они состоят из твердой фазы (60—85%), раствора (10—35%) и газа (5—10%). Твердая фаза представлена апатитом, карбонатом, гематитом, галитом и сильвинитом. Температура гомогенизации многофазовых включений изменяется от 900 до 980°C. Но в этом температурном интервале формирование апатитоносных карбонатов, конечно, не завершилось. Оно продолжалось как при температуре 740—850°C, так и при температуре 580—730°C, на что указывает гомогенизация многофазовых включений с иным соотношением фаз.

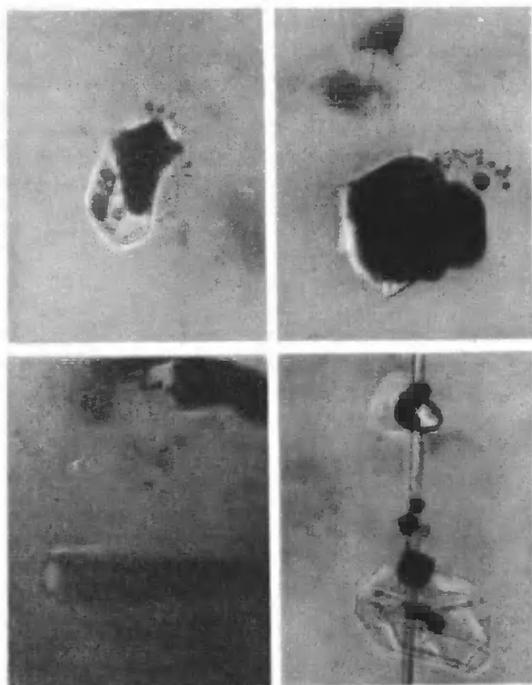


Твердо-газовые спирально закрученные включения в диопсиде из Коршуновского месторождения: ветренообразные (вверху), увел. в 200 и 450 раз; грушевидное (внизу, слева), увел. в 350 раз; витое (внизу, справа), увел. в 350 раз.

Более поздние по времени образования апатит и карбонат уже не содержат трубчатых включений. В них широко распространены многофазовые включения, которые гомогенизируются в температурных интервалах 850—900, 650—720 и 510 и 640°C. Таким образом, и эта минеральная ассоциация имеет магматическое происхождение.

Самая поздняя ангидрит-карбонатная ассоциация содержит многофазовые включения, которые гомогенизируются при температуре 795—830 и 555—650°C. Таким образом, и ангидрит, несмотря на широко распространенное мнение о его осадочном происхождении, может кристаллизоваться из высокотемпературных расплавов. На этой ассоциации заканчивается магматическая история Селигдарского месторождения.

Говоря о происхождении карбонатов, мы каждый раз подчеркивали, что месторождение прошло через магматический этап своего формирования. И это не слу-



Включения в галите из руд Коршунковского месторождения: многофазовые включения (вверху), увел. в 320 и 200 раз; газовое включение с карнасом из твердой фазы (внизу слева), увел. в 350 раз; многофазовое включение на игольчатом кристалле тремолита (внизу справа), увел. в 200 раз.

чайно. Глубина, на которую уходят месторождения магматического генезиса, куда значительнее, чем у других месторождений. Соответственно возрастают и перспективы добычи минерального сырья.

О МАГМАТИЧЕСКОМ ПРОИСХОЖДЕНИИ ФЛЮОРИТОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ

Многочисленные исследователи промышленных месторождений флюорита, располагающихся в пределах складчатых областей, пришли к единому мнению, что эти месторождения образовались из низкотемпературных (от 80 до 180—200°C) гидротермальных растворов. Это оруденение относят к особой флюоритовой формации. Подобную точку зрения распространяют на все без исключения регионы. Наши же исследования, проведенные в Центральном Алданском регионе, который представляет собой переходную зону меж-

ду Алданским щитом и Сибирской плитой, показали, что широко распространенное в его пределах флюоритовое оруденение имеет магматический генезис.

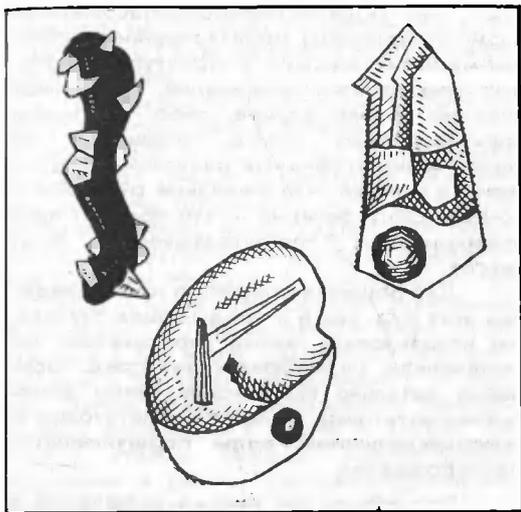
Руды в этом регионе образуются из щелочно-земельных расплавов, а формирование оруденения здесь связано с двумя близкими процессами: интрузивным и вулканогенным. При этом под вулканогенным процессом понимается переход флюоритового расплава в газообразное состояние в связи с резкой потерей давления в магматическом очаге, переносом газа в верхние горизонты земной коры и кристаллизацией его в разрывных структурах. Под интрузивным процессом понимается поступление расплавов в верхние горизонты земной коры и его кристаллизация в разрывных структурах.

Оба типа оруденения (интрузивное и вулканогенное) четко различаются по составу включений, хотя имеются и некоторые общие типы включений. Для интрузивного и вулканогенного типов оруденения общими включениями во флюорите и кварце являются твердые включения (представленные минералами и затвердевшими каплями исходного расплава), кристалло-газовые включения, содержащие 10—15% газа, и, наконец, многофазовые включения, по которым можно измерить температуру гомогенизации и, следовательно, температуру образования минералов. В вулканогенном типе оруденения, кроме того, широко распространены специфические включения, указывающие на образование минералов из газовых возгонов. Это группа твердо-газовых включений, содержащих более 60% газа и около 40% затвердевших и раскристаллизованных минералов. И в интрузивном, и в вулканогенном типах оруденения температура образования руды определялась по многофазовым включениям.

В интрузивном типе флюоритового оруденения выделяются две группы многофазовых включений. Более ранняя содержит от 70 до 90% твердой минеральной фазы, около 10% газа и 10—20% раствора солей. Гомогенизация таких включений происходит в интервале 800—870°C, т. е. при температуре магматического рудообразования. Более поздняя группа включений содержит жидкую и газообразную углекислоту, твердую минеральную фазу и раствор солей. Эта группа включений образовалась в результате взрывных явлений в магматическом очаге. Включения гомогенизируются в температурном интервале от 730 до 790°C двумя путями: при содержании углекислоты более 50% гомогенизация

осуществляется в газовую фазу, а при меньшем ее содержании — в расплав.

В вулканогенном типе оруденения господствуют твердо-газовые включения. Переход расплава в газообразное состояние может быть вызван следующими причинами. Оруденение приходится на область, где развиты активные тектоно-магматические процессы и сосредоточены глубинные разломы и зоны смятия, уходящие своими корнями в мантию. В результате процессов дифференциации в мантии обособились

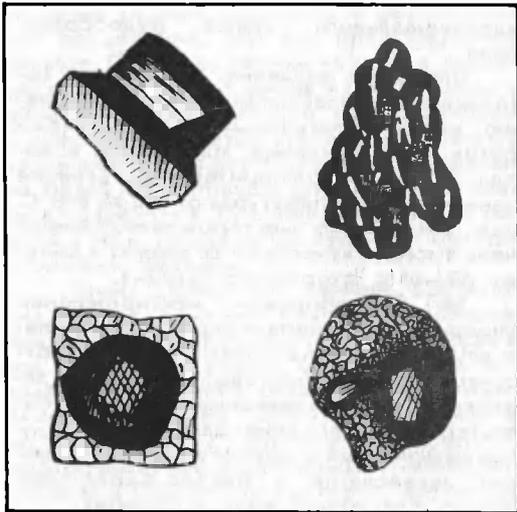


Включения во флюорите, слагающем миндалины в базальтах Ониноборского флюоритового месторождения: кристалло-газовое (слева); многофазовые (справа и внизу), увел. в 300 раз.

очаги различного химического состава, находившиеся под большим давлением и наполненные углекислотой, водой и другими летучими компонентами. Вскрытие таких очагов разрывными структурами немедленно приводило к переходу расплава в газообразное состояние. По мере выравнивания давлений во флюорите и кварце образовывались многофазовые включения. Гомогенизация этих включений наступает при температуре 645—740°С, которая также отвечает магматическому этапу образования руд.

В последние годы мы убедились, что и высококачественные флюоритовые руды Эгитинского месторождения (Бурятская АССР) образовались в результате магматической деятельности, а не при низкотемпературном гидротермальном процессе.

Эгитинское месторождение имеет очень сложное геологическое строение и сформировалось в несколько стадий, разделенных интенсивными тектоническими подвижками. Во флюоритах всех стадий мы обнаружили включения агрегатное состоя-



Включения расплавно-пневматолитового этапа рудообразования во флюорите из месторождений Центрального Алдана: твердо-газовое включение, в котором газ и твердая фаза имеют четкие кристаллографические очертания (вверху, слева); твердо-газовое включение с карнасом из твердой фазы (вверху, справа); твердо-газовое включение, состоящее из микроскопических зерен флюорита и крупного газового пузырька (внизу, слева); твердо-газовое включение, не имеющее четкой границы между газовым пузырьком и твердой фазой (внизу, справа), увел. в 300 раз.

ние и форма которых прямо указывают на образование месторождения при вулканических процессах. И только на последующих стадиях во флюорите образовались вторичные включения, возникшие при циркуляции гидротермальных растворов, температура которых, по данным гомогенизации, находилась в интервале 100—300°С.

Во флюорите были встречены следующие типы включений, характерных для магматического этапа рудообразования: затвердевшие капли расплава; микроскопические кристаллы минералов; кристалло-газо-

вые включения; многофазовые включения, содержащие жидкость, газ и твердую фазу. Наряду с этими включениями, встречаются твердо-газовые образования, в которых твердая фаза спирально закручена. Это указывает на интенсивные взрывные процессы, при которых расплавы переходили в газообразное состояние, и при турбулентном их движении происходило «закручивание» твердо-газовых образований. Наряду с включениями магматического этапа рудообразования, имеются и вторичные включения. К ним относятся газовые и газово-жидкие включения пневматолитового и гидротермального этапов рудообразования.

Благодаря изучению агрегатного состояния магматических включений и сравнению их с аналогичными образованиями других месторождений, мы пришли к выводу, что данное флюоритовое оруденение возникло при температурах от 600 до 870°С. Руды Эгитинского месторождения имеют очень высокое качество и содержат в среднем 60—65% фтористого кальция.

На Онинборском месторождении флюоритовая минерализация представлена двумя разновидностями. К ранней относится темно-фиолетовый флюорит, заполняющий миндалевидные пустоты в базальтах. Более поздние разновидности — среднезернистый и крупнозернистый флюорит зеленоватой и бледно-фиолетовой окраски, слагающий жилы в гранитах.

Флюорит в миндалинах базальтов содержит твердо-газовые, кристалло-газовые и многофазовые включения. Агрегатное состояние включений показывает, что кристаллизация флюорита происходила, по видимому, при температуре 700—800°С. После кристаллизации флюорита в полости включения создавался вакуум, который способствовал «засасыванию» гидротермальных фтороносных растворов, из которых кристаллизовался вторичный флюорит.

На примере Онинборского месторождения хорошо видна связь флюоритового оруденения с расплавами основного состава, а также два пути образования флюоритовой минерализации: на раннем этапе — из магматических газообразных сред, а на позднем — из гидротермальных растворов. Такая последовательность подчеркивает вулканогенное происхождение оруденения.

Выявленный нами магматический тип флюоритового оруденения представляет большой интерес для металлургических отраслей промышленности, применяющих ку-

сковые флюоритовые концентраты. Содержание флюорита в рудах магматического генезиса составляет 60—80%, в то время как в большинстве низкотемпературных месторождений оно не превышает 30—40%.

ГЕНЕЗИС ПИРОКСЕН-МАГНЕТИТОВЫХ РУД

Геологи много спорят о происхождении Ангаро-Илимских месторождений железа, но до сих пор по этому вопросу не выработано единого мнения. Одни настаивают на гидротермально-метасоматическом (скарновом) происхождении пироксен-магнетитовых руд, а структуры, в которых локализуется оруденение, принимают либо за трубки взрыва, либо за столбы брекчированных пород, возникшие на пересечении глубинных разломов. Другие геологи считают, что железные руды Ангаро-Илимского региона — это продукт приповерхностных поствулканических процессов.

Для решения вопроса о происхождении этих руд, как и в предыдущих случаях, мы использовали метод термометрии по включениям рудообразующих сред. Особенно детально были исследованы диопсид-магнетитовые, кальцит-магнетитовые и галит-магнетитовые руды Коршуновского месторождения.

Специфическая форма включений в диопсиде, слюде, кальците и галите указывает на то, что оруденение здесь сформировалось в результате вулканических взрывных процессов.

В диопсиде широко распространены включения расплавно-пневматолитового этапа, представленные твердо-газовыми образованиями. Среди них преобладают спирально-закрученные твердо-газовые включения, имеющие веретенообразную, грушевидную или шарообразную форму. Широко распространены также твердо-газовые включения с каркасом из твердых минеральных фаз.

В диопсиде и карбонате были выявлены включения расплавно-интрузивного этапа рудообразования. Это затвердевшие капли расплава, кристалло-газовые и многофазовые включения. Наконец, выделена большая группа вторичных включений, являющихся результатом последующих этапов рудообразования — пневматолитового и гидротермального. Если сравнить этот набор включений с аналогичными образованиями в флюорите Центрально-Алданского района, то мы убедимся в полном

их сходстве, указывающем на идентичные условия образования флюоритовых и пикроксен-магнетитовых руд.

Температуру образования руд Коршуновского месторождения мы определяли по многофазовым включениям в диопсиде, содержащим 65—80% твердой фазы, 10—20% раствора и столько же газа. Этот тип включений гомогенизируется в температурном интервале 760—900°C. Более поздние включения, содержащие 35—55% твердой фазы, 40—55% раствора и 5—15% газа, гомогенизируются при температуре от 500 до 635°C. Оба температурных интервала указывают на образование диопсида и ассоциирующего с ним магнетита из магматического расплава.

Галит-магнетитовые руды Коршуновского месторождения залегают на глубине свыше 500 м. С галитом в этих рудах ассоциирует слюда, образующая мельчайшие линзочки толщиной 1—3 мм. В галите заключены также волосовидные кристаллы тремолита. Включения минералообразующих сред мы обнаружили как в галите, так и в слюде. Состав и морфология включений показывают, что галит-магнетитовые руды возникли в два этапа: расплавно-пневматолитовый и расплавно-интрузивный. С первым этапом связано образование твердогазовых включений в галите и слюде. Со вторым этапом связаны многофазовые включения в галите, сконцентрированные главным образом вокруг кристаллов тремолита. Наряду с включениями магматического этапа рудообразования, имеются многочисленные вторичные включения — результат гидротермальных процессов.

Количество включений расплавно-пневматолитового этапа невелико, что позволяет говорить о непродолжительности данного этапа. Преобладают включения расплавно-интрузивного этапа рудообразования. Наиболее ранними являются кристаллы магнетита и тремолита в галите. Позже образовались многофазовые включения, содержащие 60—80% магнетита; 3—5% газа и 5—25% раствора. Гомогенизировать эти включения не удалось, но судя по включениям в диопсиде, галит-магнетитовые руды образовались, вероятно, в температурном интервале от 700 до 800°C.

Отложение галита, вкрапленного в руды в количестве до 10%, связано с выносом соли высокотемпературными газосодержащими растворами и расплавами из соленосных кембрийских отложений. Вкрапленную соль следует отличать от соли, заключенной в трещинах. Последняя образовалась в самый поздний этап циркуляции гидротер-

мальных растворов по разрывным структурам.

В настоящее время железные руды вскрыты на глубине 1200—1500 м (на некоторых месторождениях до 4200 м). Новый взгляд на происхождение этих руд дает основание рассчитывать, что в Ангаро-Илимском районе железные руды простирются до больших глубин.

В заключение отметим, что изложенный материал прямо указывает на большее значение рудных расплавов в формировании оруденения, чем это представлялось раньше. Особенно велика их роль в пределах платформенных щитов и плит, а также в областях глубоких впадин, расположенных в древних складчатых структурах. Поэтому возникает острая необходимость в возможно более объективном определении генезиса оруденения. Прочной основой для работы в этом направлении являются методы термобарогеохимии.

Точно определить генезис оруденения — это означает иметь объективные предпосылки и признаки при его поисках и все данные для научно обоснованного направления геолого-разведочных работ. Вместе с тем уже сейчас необходимо, в частности, для магматического флюоритового оруденения разрабатывать новые поисковые и оценочные критерии, поскольку те, что применялись для гидротермальных месторождений, в ряде регионов утратили свое значение.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Ермаков Н. П. ДВАДЦАТИПЯТИЛЕТИЕ ТЕРМОБАРОГЕОХИМИИ И ПЛАНЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ В ПОСЛЕДНЕЙ ЧЕТВЕРТИ XX ВЕКА.— В сб.: Теория и практика термобарогеохимии. М.: Наука, 1978.

Ермаков Н. П. ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЯ МИНЕРАЛОВ ЗЕМЛИ И КОСМОСА.— Природа, 1980, № 5, с. 56.

Пузанов Л. С., Колпрус А. В. и др. ПЛАВИКОВЫЙ ШПАТ. М.: Недра, 1972.

Пузанов Л. С., Покалов В. Т. и др. ПРИНЦИПЫ ПРОГНОЗА И ОЦЕНКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ. М.: Недра, 1977.

Пузанов Л. С. ЭПОХИ ПРОМЫШЛЕННОГО ФЛЮОРИТООБРАЗОВАНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ СССР.— В сб.: Флюорит. М.: Наука, 1976.

Мембрана, живущая вне клетки

В. В. Ерохин, Л. Н. Филиппенко



Владислав Всеволодович Ерохин, доктор медицинских наук, заведует лабораторией электронной микроскопии Центрального научно-исследовательского института туберкулеза Министерства здравоохранения СССР. Область научных интересов — исследование ультраструктуры легких. Один из инициаторов изучения сурфактанта в нашей стране.



Лариса Николаевна Филиппенко, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник той же лаборатории. Основные работы посвящены изучению морфологии сурфактанта легких.

В последнее время пристальное внимание биологов и медиков привлекают легочные поверхностно-активные вещества, так называемые сурфактанты (от англ. surface — поверхность), которые располагаются на внутренней поверхности альвеол в виде непрерывного тонкого слоя и, как оказалось, играют важную роль в биомеханике дыхания. Недостаток этих веществ в легких приводит к спаданию альвеол и нарушению дыхательной функции органа.

Для того чтобы установить природу и свойства этого важного внеклеточного образования альвеолы, непосредственно соприкасающегося с воздухом, во многих лабораториях мира сегодня изучают его физиологические, биохимические и струк-

турные особенности у млекопитающих, в том числе и человека. Начиная с 1967 г. в нашей стране в этом направлении работают коллективы ряда медицинских и научно-исследовательских институтов, в том числе и наш институт.

ПОЧЕМУ АЛЬВЕОЛЫ НЕ СПАДАЮТ НА ВЫДОХЕ?

Снабжая клетки и ткани организма кислородом, легкие пропускают большие объемы газа. Непосредственный обмен газами между воздухом и кровью осуществляется на уровне альвеол — мельчайших структурных образований, диаметр которых у млекопитающих не превышает

0,75 мм. У взрослого человека насчитывают до 300 млн альвеол. Структура альвеол напоминает открытые пузырьки, тесно сидящие на поверхности самых мелких воздухоносных путей и ходов легких. Их тонкие (до 10 мкм) стенки, образованные эластичной соединительной тканью, пронизаны густой сетью кровеносных капилляров, которые близко подходят к внутренней соприкасающейся с воздухом поверхности альвеолы, выстланной лишь одним слоем эпителиальных клеток. Часть клеток, так называемые дыхательные альвеолоциты,

нии всего акта дыхания — вдоха и выдоха. Почему же при выдохе, когда воздух устремляется из легких и объем альвеол начинает уменьшаться, тонкие стенки этих нежных образований не спадают?

Специальный механизм, обеспечивающий стабильность альвеол в процессе дыхания, был открыт сравнительно недавно, лишь в 50-х годах нашего столетия. Оказалось, что если из кусочков свежeweделенной легочной ткани выдавливать воздух, то образуется пена, пузырьки которой долго не лопаются¹. Предположили, что ста-

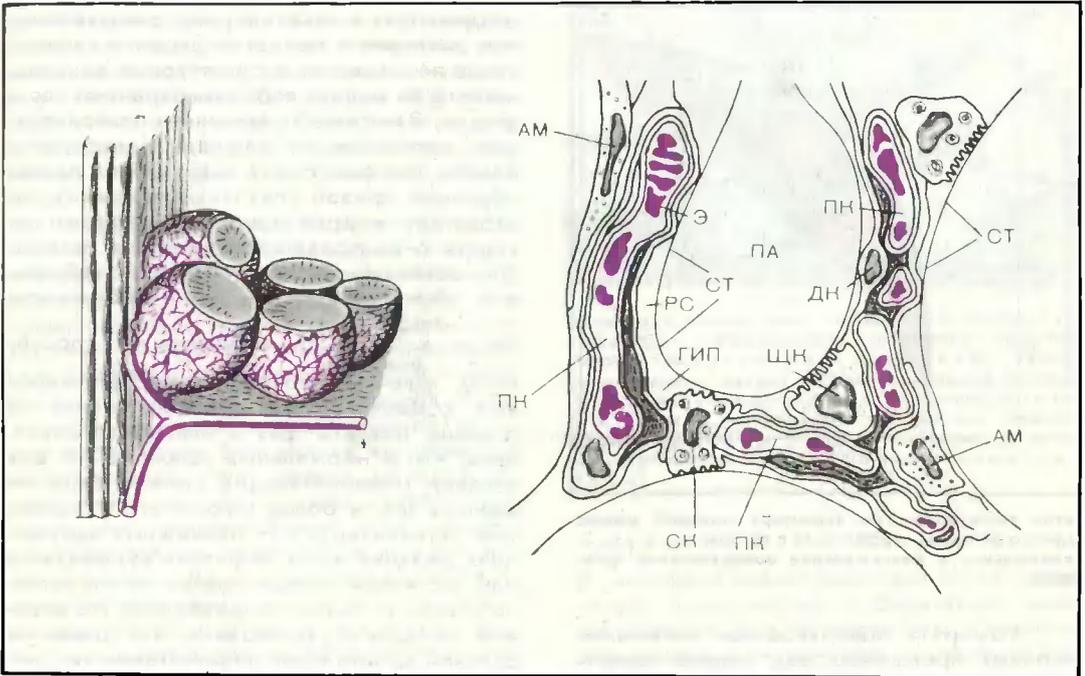


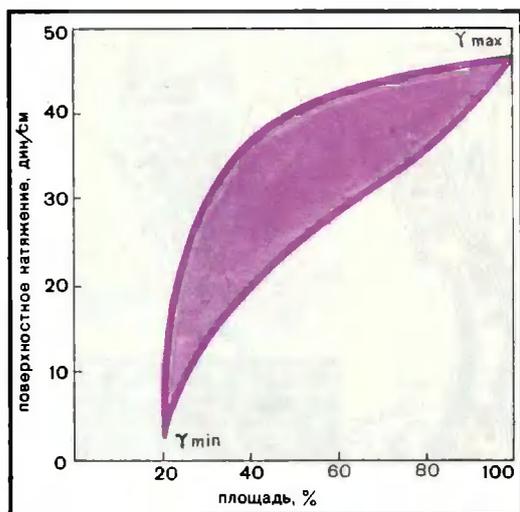
Схема строения альвеол. Слева — альвеолы, расположенные на стенке воздухоносного пути; справа — альвеола в разрезе; просвет альвеолы (ПА), слой жидкости (типофазы) на поверхности (ГИП), пленка сурфактанта на границе раздела фаз жидкость — воздух (СТ), сеточки резервного сурфактанта (РС), дыхательная (ДК), секреторная (СК) и щеточная (ЩК) клетки альвеолярного эпителия, альвеолярный макрофаг (АМ), просвет капилляра (ПК), эритроцит (Э).

имеют сильно вытянутую уплощенную форму. В этих наиболее тонких участках альвеолярной стенки и происходит интенсивный газообмен, возможный лишь в хорошо расправленных альвеолах. Именно такое состояние структурных единиц поддерживается в здоровом легком на протяже-

тельность таких пузырьков обеспечивается поверхностно-активными веществами, покрывающими их стенки. В альвеоле эти вещества могут располагаться вне клеток легочного эпителия (поэтому они легко выдавливаются), непосредственно на ее поверхности, и способны снижать ее межмолекулярное натяжение на границе с воздухом. Действительно, если несколько раз промыть легкие через воздухоносные пути физиологическим раствором, поверхностно-активные вещества легко вымываются из альвеол и могут быть обнаружены в промывной жидкости. Именно так биохимики

¹ Pattle R. E. — Nature, 1955, v. 175, p. 1125.

и физиологи выделяют сурфактанты из легких животных, чтобы изучить их состав и поверхностно-активные свойства. Оказалось, что основу сурфактанта составляют фосфолипиды, главным образом лецитин (фосфатидилхолин). В небольшом количестве имеются и такие фосфолипиды, как сфингомиелин, фосфатидилсерин, фосфатидилглицерол, а также нейтральные липиды. Все эти жирные вещества обладают способностью концентрироваться на границе раздела фаз воздух — жидкость, формируя пленку сурфактанта.



Петля гистерезиса, по характеру которой можно судить о резервах сурфактанта в легком. γ_{\min} и γ_{\max} — минимальное и максимальное поверхностное натяжение.

Измерять поверхностное натяжение легочных промывных вод можно известными в химии приборами, в частности с помощью весов Ленгмюра — Вильгельми. Была создана простая физиологическая модель для изучения поверхностно-активных свойств альвеолярного сурфактанта. В плоскую ванночку из инертного материала помещают исследуемую жидкость легкого и через несколько минут, необходимых для концентрации всех фосфолипидов на поверхности (границе раздела фаз вода — воздух), начинают сжимать образовавшуюся пленку подвижным барьером. Поверхностное натяжение измеряют при минимальном и максимальном сжатии, моделирующих наибольшую при вдохе и наименьшую при выдохе площадь альвеолярной поверхности. Так было установлено, что в процессе дыхания поверхностное на-

тяжение в альвеолах постоянно меняется: при вдохе оно составляет 40—50 дин/см, но с уменьшением их размера на выдохе сразу же снижается до 5—10 дин/см. Значит, если бы в легком не было сурфактанта и поверхностное натяжение (σ) на внутренней стороне альвеолы не изменялось, то уже одно уменьшение ее радиуса (r) увеличивало бы давление воздуха на альвеолярную стенку (P) и вызывало бы ее спадание (по закону Лапласа $P = \frac{2\sigma}{r}$). Между

тем этого не происходит, так как поверхностно-активные вещества все время меняют свою концентрацию (а следовательно, и поверхностное натяжение) на границе раздела фаз в альвеоле; внутриальвеолярное давление в процессе дыхания существенно не меняется, и структурные единицы легкого на выдохе хорошо сохраняют свою форму. Зависимость величины поверхностного натяжения от площади поверхности пленки фосфолипидов выражается петлеобразной кривой (петля гистерезиса), по характеру которой можно ориентировочно судить о резервах сурфактанта в легком. Для объективной характеристики этой кривой был введен индекс стабильности

(ИС = $\frac{2\gamma_{\max} - \gamma_{\min}}{\gamma_{\max} + \gamma_{\min}}$), отражающий способ-

ность легочных фосфолипидов формировать стабильную пленку сурфактанта на границе раздела фаз в альвеоле. Оказалось, что в нормальных условиях ИС для альвеол млекопитающих должен быть не меньше 0,8, и более низкие значения уже сигнализируют о возможных нарушениях дыхания из-за дефицита сурфактанта или частичной потери поверхностно-активных свойств. Именно определение ИС впервые позволило установить, что развитие сильной дыхательной недостаточности у некоторых недоношенных новорожденных связано со спаданием альвеол и отсутствием в них необходимого уровня поверхностно-активных веществ. Если в легкие экспериментальных животных ввести разрушающие сурфактант вещества (например, спирт, растворяющий липиды), то наблюдаемое при этом спадание альвеол также приведет к нарушению нормальной функции органа и развитию дыхательной недостаточности.

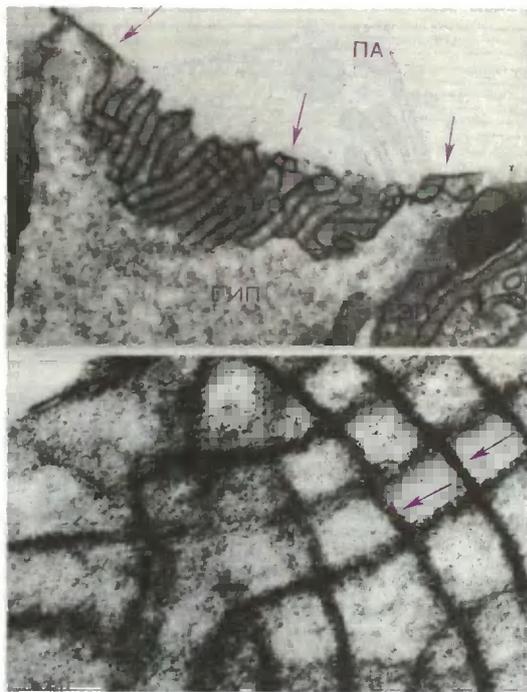
Таким образом, обнаружение в легких поверхностно-активных веществ, обеспечивающих стабильность альвеол при дыхании, позволило по-новому подойти к оценке ряда форм легочных заболеваний и получило важное практическое значение не только для медицины, но и биологии.

СУРФАКТАНТ ГЛАЗАМИ МОРФОЛОГА

Обнаруженный физиологами и биохимиками в альвеолах слой поверхностно-активных веществ подсказал морфологам мысль о формировании ими специализированной структуры, которая располагается поверх клеток эпителия и которую, следовательно, можно увидеть под электронным микроскопом. Структурно-молекулярный анализ такого альвеолярного внеклеточного покрытия необходим не только для понимания нормальной физиологии дыхания, но и для выяснения роли различных состояний легкого в развитии тех или иных болезней дыхательного аппарата. Кроме того, расположенные над эпителием поверхностно-активные вещества фактически образуют в альвеоле первый барьер на пути проникновения в ее стенку бактерий и других чужеродных агентов и, следовательно, выполняют в легких пока мало изученную защитную функцию.

Однако, несмотря на важность проблемы и многочисленные попытки изучить морфологическое строение альвеолярного внеклеточного слоя, это долгое время не удавалось из-за его чрезвычайной миниатюрности и хрупкости. Быстрое вымывание сурфактанта из легких, облегчившее биохимическое и физиологическое исследование, стало серьезным препятствием для морфологов. Выяснилось, что даже при использовании таких тонких методов исследования, как электронная микроскопия, почти весь поверхностный слой альвеол разрушается при подготовке легкого для исследования. Часть веществ удаляется из альвеол еще при измельчении свежеснятой легочной ткани на кусочки, другие вымываются при их погружении в фиксирующие жидкости — спирты и ацетоны. Стало ясно, что сохранить в альвеолах естественное расположение поверхностно-активного слоя и при этом не нарушить его структуры химическими агентами можно, лишь применив принципиально новую методику. Ее разработка была связана с дальнейшим совершенствованием современных электронномикроскопических методов исследования и достигла определенных успехов только в последние 10—12 лет.

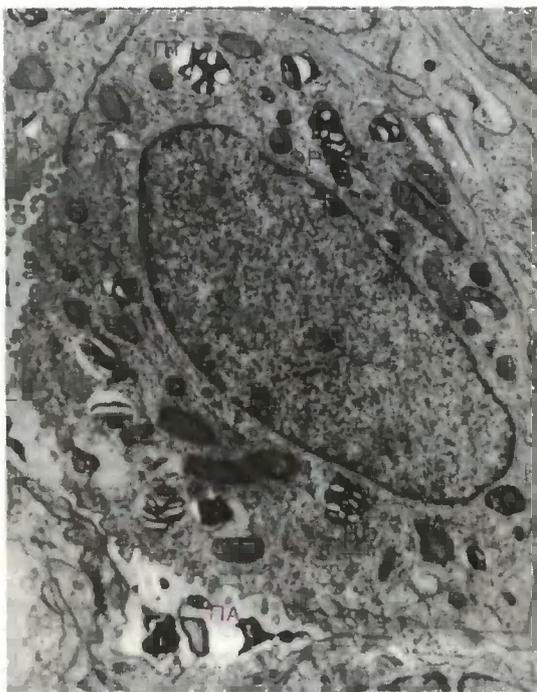
За это время появились новые способы фиксации легкого, частично предохраняющие сурфактант от вымывания из альвеол. Исследователи научились быстро обрабатывать легочную ткань (например, с помощью лиофильной сушки), уменьшая химическое воздействие на ее структуру.



Фрагмент альвеолярной поверхности. Вверху — структура сурфактантного комплекса: наружная пленка (обозначена стрелкой), сеточки мембранного резерва (РС), погруженные в гипофазу (ГИП), альвеолярный эпителий (ЭП). (Увел. в 15 тыс. раз.) Внизу — фрагмент сеточки при большом увеличении (120 тыс.); ячейки построены из типичных трехслойных мембран (обозначены стрелками).

В настоящее время подобран и ряд красителей, позволяющих избирательно контролировать под электронным микроскопом основные химические компоненты сурфактанта (липиды, белки и углеводы). Все это, наконец, дало возможность изучить общий план конструкции альвеолярного сурфактанта и выявить некоторые особенности его структурной организации у млекопитающих и человека.

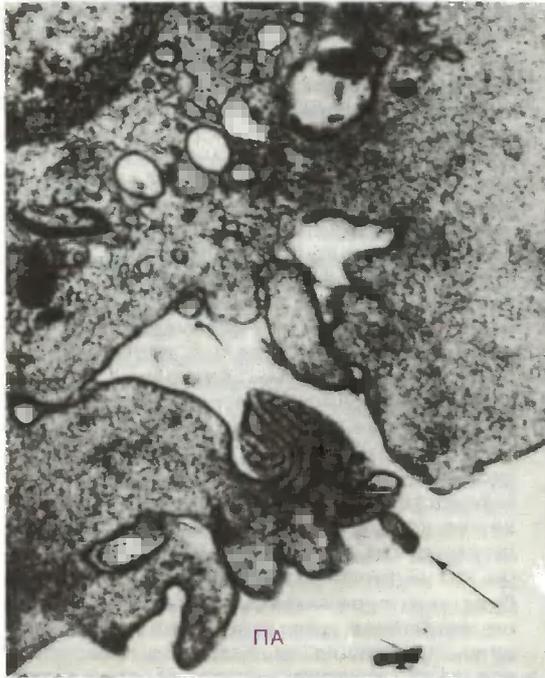
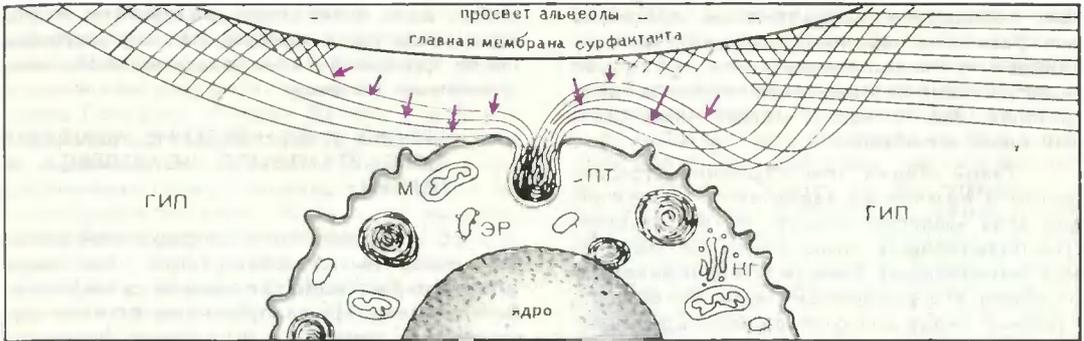
Как показали электронномикроскопические исследования последних лет, проводимые, в частности, в нашей лаборатории, в образовании альвеолярного внеклеточного слоя природа использовала те же стандартные детали, из которых построены и все клетки организма — элементарные трехслойные мембраны. С помощью поверхностно-активных фосфолипидов сформировалась легкая подвижная конструкция, обеспечивающая перепады поверхностного натяжения в альвеолах.



Вверху — формирование секреторной гранулы в цитоплазме клетки. Слева — секреторная клетка альвеолярного эпителия, продуцирующая сурфактант; имеет хорошо развитый эндоплазматический ретикулум (ЭР), комплекс Гольджи (КГ), митохондрии (М), осмиофильные пластинчатые тельца (ПТ) — продукт секреции. [Увел. в 6 тыс. раз.] Справа — осмиофильное пластинчатое тельце (ПТ) в гипофазе сурфактантного комплекса (ГИП); мембраны, раскручиваясь, вновь укладываются в сеточки резервного сурфактанта — РС. [Увел. в 17 тыс. раз.]

В чем же структурные и функциональные особенности этого уникального внеклеточного сооружения, названного сурфактантным комплексом? Это действительно комплекс определенным образом рас-

положенных мембран, погруженных в питательную жидкость — гипофазу, которая покрывает верхушки эпителиальных клеток, предохраняя их от высыхания и сглаживая все неровности альвеолярной поверхности. Высота этого слоя порядка 5 мкм. В гипофазе содержатся в растворенном и гелеобразном состоянии все вещества, необходимые для жизнедеятельности мембран сурфактанта. Главная наружная мембрана сурфактантного комплекса располагается в альвеоле непосредственно на границе раздела фаз воздух — жидкость в виде непрерывной мономолекулярной пленки-мембраны толщиной 7—8 нм. Ее протяженность вполне достаточна, чтобы занять



всю границу раздела фаз в максимально растянутой альвеоле, какой она бывает в момент глубокого вдоха. При выдохе, когда объем альвеолы уменьшается, длина этой пленки тоже сокращается за счет того, что часть ее ставших теперь «лишними» молекул переходит в толщу гипофазы. Поверхностное натяжение в альвеоле при этом уменьшается. В гипофазе молекулы поверхностно-активных веществ тоже образуют мембрану, но теперь уже не гладкую, вытянутую, как на границе раздела фаз, а складчатую, компактно упакованную в «запасной» блок. При вдохе этот мембранный «резерв» сурфактантного комплекса опять будет использован для

Вверху — выделение мембран сурфактанта (показано стрелками) из пластинчатого тела (ПТ) на поверхность альвеолы; гипофаза (ГИП), митохондрии (М), эндоплазматический ретикулум (ЭР), комплекс Гольджи (НГ).

Слева — альвеолярный макрофаг захватывает сеточки резервного сурфактанта (показано стрелкой). [Увел. в 23 тыс. раз.]

Справа — фагосомы (Ф) макрофага с сеточками резервного сурфактанта (РС). [Увел. в 30 тыс. раз.]

достройки его главной наружной мембраны-пленки.

Под электронным микроскопом на срезах толщиной в 50—60 нм упаковки резервного сурфактанта имеют вид сето-

чек, лежащих в хлопьевидном веществе гипофазы, под наружной пленкой. При увеличении в несколько десятков тысяч раз видно, что они построены из типичных трехслойных (два темных и между ними светлый слой) мембран.

Такой общий план строения сурфактантного комплекса характерен не только для всех млекопитающих, но и большинства позвоночных: птиц, рептилий, некоторых земноводных. Вместе с тем количество мембран его резервной части изменяется у разных видов млекопитающих. Среди лабораторных животных, которые пока наиболее изучены, особенно обильны эти структуры в альвеолах крыс, тогда как у морских свинок встречаются редко. В то же время размеры альвеол у этих небольших животных близки, и количество мембранного резерва, используемого в акте дыхания, должно бы быть сходным. В чем же здесь дело?

Пока ответить на этот вопрос трудно. Очевидно, мембранные сеточки сурфактанта служат не только подвижным резервом для достройки наружной пленки комплекса, но и выполняют в альвеолах еще какую-то функцию, например функцию иммунологической противобактериальной защиты. Недавно было обнаружено, что на мембранах сурфактанта располагаются иммунологически активные белки крови — альбумины и глобулины². Они попадают на поверхность альвеол из кровеносных капилляров, лежащих в альвеолярных стенках.

Следовательно, если наше предположение о защитной функции мембран сурфактанта верно, то нельзя ли по их количеству в альвеолах судить о степени противинфекционной устойчивости животного? В будущем иммунологи и микробиологи должны ответить на этот вопрос. Пока лишь известно, что морские свинки крайне подвержены различным воздушно-капельным инфекциям, и поэтому их широко используют для стабильного получения в эксперименте пневмонии, туберкулеза. А вот у крыс вызвать эти опаснейшие инфекционные заболевания очень трудно, даже при введении в воздухоносные пути больших доз бактерий. Связано ли это с различной противобактериальной устойчивостью альвеолярного сурфактанта у этих животных, пока можно только предполагать. Исследования, проводимые в этом направлении у разных представителей животного мира,

могут дать интересные результаты и открыть еще одну важную сторону деятельности сурфактанта — альвеолярной «пограничной заставы».

СИНТЕЗ И ОБНОВЛЕНИЕ МЕМБРАН СУРФАКТАНТНОГО КОМПЛЕКСА В ЛЕГКИХ

В процессе своей напряженной работы мембраны сурфактантного комплекса довольно быстро (в среднем за сутки) «срабатываются». Их разрушенные остатки выносятся с током альвеолярной жидкости в бронхи и уже вместе с мокротой выделяются из легких. Место отработанных мембран сразу же занимают новые, функционально-активные. Где же синтезируются легочные поверхностно-активные вещества, и как они попадают на поверхность альвеол?

Сегодня мы уже многое знаем об этих процессах. В составе альвеолярного эпителия млекопитающих, помимо плоских дыхательных клеток, есть округлые секреторные альвеолоциты, которые и занимают заготовкой мембран-полуфабрикатов для внеклеточного слоя альвеол. У разных видов млекопитающих количество этих клеток различно, но всегда оно достаточно велико: 470—500 в 1 мм² эпителия (50—65% всех альвеолоцитов)³. Используя поступающие из крови различные жирные кислоты, аминокислоты, глюкозу, в эндоплазматическом ретикулуме клетки синтезируют поверхностно-активные фосфолипиды и белки, из которых затем в аппарате Гольджи формируются секреторные гранулы. Внутри них и происходит самосборка мембран будущего сурфактанта, которые постепенно заполняют молодую секреторную гранулу, превращая ее в зрелое, пластинчатое тело, которое некоторое время хранится в цитоплазме в виде клубочка мембран.

Как же удалось доказать, что секреторные клетки альвеолярного эпителия продуцируют мембраны именно для легочного сурфактанта? Исследователи поместили изотопом холин, используемый в синтезе фосфатидилхолина — основного липида сурфактанта, и ввели его в кровь животного⁴. Уже через 5 мин метку (в виде плотных

³ Федосеев Г. Б., Лаврова Т. Р., Кихарев С. С. Сурфактантная система легких. — В сб.: Клеточные и субклеточные механизмы защиты и повреждения бронхов и легких. М.: Наука, 1980.

⁴ Chevalier G., Collet A. — *Anat. Rec.*, 1972, v. 174, p. 121.

² Bignon J. — *Amer. Rev. Respir. Dis.*, 1976, v. 113, p. 109.

зерен серебра) можно было видеть под электронным микроскопом только в этих клетках легкого: сначала в канальцах эндоплазматического ретикулума, затем в комплексе Гольджи, а через 30 мин и в самих пластинчатых тельцах. Здесь она постепенно накапливалась и через 2 ч вместе с содержимым телец начинала выделяться на поверхность альвеол. Обычно это выделение происходит так: пластинчатое тельце подходит к верхушке клетки, его оболочка сливается с клеточной, образуя отверстие, через которое мембраны клубочка начинают раскручиваться и выходить на клеточную поверхность, где сразу же попадают в гипофазу сурфактантного комплекса. Здесь они обогащаются новыми веществами (например, уже известными нам белками крови) и упаковываются в готовые для построения наружной пленки резервные мембранные сеточки. В тех случаях, когда необходимо быстро выделить значительное количество поверхностно-активного материала, клетки выбрасывают пластинчатые тельца целиком, а раскручиваются они уже в гипофазе самостоятельно. Такую картину мы наблюдали в альвеолах единственного правого легкого крыс после удаления у них левого легкого.

И еще одно важное свойство секреторных клеток: выделенные из ткани, они сохраняют свою функциональную активность в питательной среде, содержащей все необходимое для синтеза поверхностно-активных веществ⁵. Эту удивительную способность работать в пробирке в настоящее время используют для выяснения одного из главных вопросов: какие вещества влияют на выработку сурфактанта и как осуществляется регуляция этого процесса в альвеолах и легком в целом? По-видимому, наряду с очевидным контролем за этими процессами со стороны нервной и эндокринной систем, в альвеолах имеются какие-то местные регуляторные механизмы, поддерживающие определенный уровень поверхностно-активных веществ. Например, в случае избыточной выработки мембран сурфактанта в альвеолах с повышенной функциональной нагрузкой (в том же единственном правом легком крысы) часть его резервного материала поглощается альвеолярными макрофагами, живущими на поверхности альвеол. В фагосомах этих клеток под электронным микроскопом можно увидеть уже знакомые нам мембранные сеточки.

Заманчиво предположить, что секреторным альвеолоцитам могут помогать и обнаруженные недавно в альвеолярном эпителии млекопитающих так называемые щеточные клетки⁶. Свое название они получили из-за миниатюрных регулярных выростов клеточной оболочки, расположенных на верхушках клеток и выступающих в просвет альвеол. Своими «щетками» альвеолоциты, возможно, улавливают те или иные изменения в альвеолярном внеклеточном слое, так как количество и функциональная активность этих клеток резко возрастают в альвеолах с повышенной нагрузкой. Щеточные клетки могут быть альвеолярными хеморецепторами и передавать сигнал о состоянии сурфактанта в центральную нервную систему или непосредственно секреторным клеткам, стимулируя или тормозя выработку в них поверхностно-активных веществ.

Механизмы этих сложных клеточных взаимодействий в альвеолах пока мало понятны, и их лишь начинают изучать в эксперименте. Вместе с тем уже первые шаги, предпринятые в этом направлении, свидетельствуют о наличии в легком млекопитающих единой системы, в которую, помимо самого сурфактантного комплекса, входят различные клеточные элементы, обеспечивающие синтез (секреторные клетки), обновление и регуляцию (альвеолярные макрофаги, щеточные клетки) легочных поверхностно-активных веществ. Эта система постоянно поддерживает альвеолярный сурфактант в активном состоянии и надежно обеспечивает стабильность альвеол в процессе дыхания. Уже небольшой экспериментальный материал, накопленный сегодня, показывает, что нарушение работы даже одного из звеньев этой сложной системы (особенно секреторных клеток) может приводить к изменению нормального состояния альвеолярного сурфактанта, спаданию альвеол и расстройству дыхательной функции легкого. Дальнейшие исследования позволят выяснить механизмы взаимодействия между всеми компонентами сурфактантной системы и помогут практической медицине в борьбе со многими заболеваниями органов дыхания.

⁶ Meyrick B., Reid L. — J. Ultrastruct., 1968, v. 23, p. 71.

⁵ Kikvova J. J. — Lab. Invest., 1975, v. 32, p. 295.

Геохимия окаменелых деревьев

В. А. Вахрушев,
доктор геолого-
минералогических наук

Гомельский государственный
университет

Невозможно оставаться равнодушным, держа на ладони камень, сохранивший внешность и строение обыкновенного ствола дерева. Не случайно с давних пор он используется как интересный декоративный материал. В залах Эрмитажа, в минералогических музеях выставлены великолепные вазы и столешницы из самоцветного окаменелого дерева. Интересны древесные окаменелости и для геологов: по ним судят о возрасте горных пород, окружающих окаменелость, о климате прошлых эпох и о других геологических явлениях.

В настоящее время достаточно полно изучен основной минеральный состав окаменелых деревьев. Выяснено, что в результате сложных геохимических процессов, протекающих в толщах осадочной оболочке Земли, древесина полностью замещается кварцем, халцедоном, опалом, кальцитом, доломитом, баритом, целестином, пиритом, марказитом и другими минералами. Известно свыше 60 минералов, которые замещают органическую ткань древесины, не нарушая ее строения.

Однако о геохимических особенностях окаменелых деревьев, и в частности о содержании в них микропримесей редких и рассеянных элементов, мы знаем немного. Имея под рукой ограниченное количество образцов, попытаемся все же

Содержание элементов-примесей в окаменелых деревьях, вес. %

Элементы	Болотный кипарис	Дерево, родственные хвойным		Осадочные породы (глины, сланцы)*
		Центр Сибирской платформы	Сев.-зап. Сибирской платформы	
Be	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$
Ti	$9 \cdot 10^{-3}$	не обн.	$2 \cdot 10^{-2}$	$4,5 \cdot 10^{-1}$
V	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$
Cr	не обн.	$8 \cdot 10^{-3}$	не обн.	$1 \cdot 10^{-2}$
Mn	не обн.	$9 \cdot 10^{-2}$	1,3	$6,7 \cdot 10^{-2}$
Co	не обн.	не обн.	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Ni	$6 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$9,5 \cdot 10^{-3}$
Cu	$3 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	не обн.	$5,7 \cdot 10^{-3}$
Zn	не обн.	не обн.	$2 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-3}$
Ge	$3 \cdot 10^{-3}$	не обн.	не обн.	$2 \cdot 10^{-4}$
Zr	$9 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-4}$	не обн.	$2 \cdot 10^{-2}$
Mo	$5 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	не обн.	$2 \cdot 10^{-4}$
Ag	следы	не обн.	не обн.	$1 \cdot 10^{-5}$

* По А. П. Виноградову (1962)

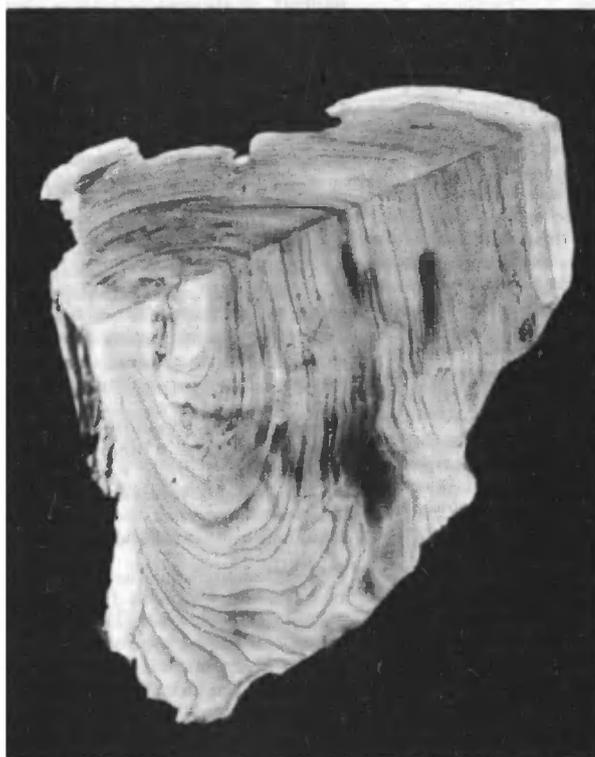
выяснить, как распределены микроэлементы в окаменелой древесине¹.

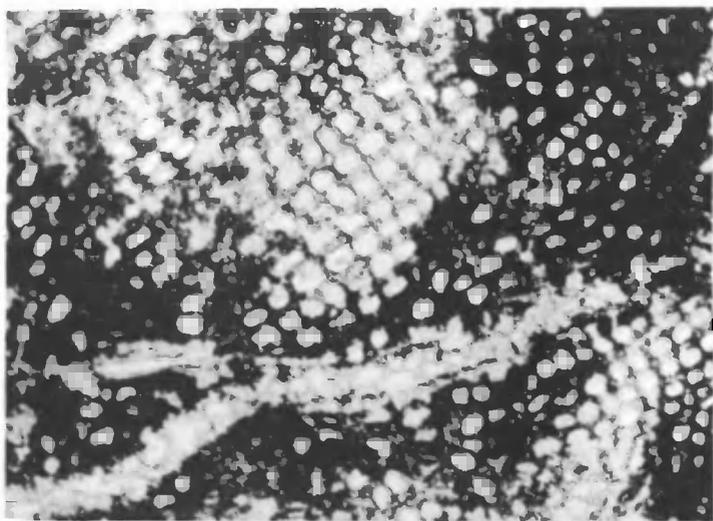
Первый из анализированных образцов — окаменелый болотный кипарис — привезен из южной части пустыни Гоби (район развалин монастыря Улугей-Хид). Здесь обломки окаменелых деревьев залегают в нижне-меловых вулканогенных отложениях, возраст которых геологами оценивается в 100—130 млн лет. Древесина полностью замещена халцедоном и опалом. Поверхность ее среза легко полируется и обладает коричневым цветом. По своей красоте отполированный окаменелый болотный кипарис может соперничать со многими камнями-самоцветами.

Результаты анализа химического состава окаменелого кипариса оказались неожиданными. Спектральным методом в пробе установлено повышенное количество циркония и германия. Причем оказалось, что содержание циркония в 5 раз, а германия — в 15 раз выше сред-

Древесные окаменелости. Вверху, слева — обломок окаменелого болотного кипариса [уменьш. в 2 раза]; вверху, справа — обломок окаменелого дерева, родственного современным хвойным [уменьш. в 1,5 раза]; внизу, слева — продольный и поперечный срез окаменелого дерева [уменьш. в 1,5 раза]; внизу, справа — обломок окаменелого дерева, замещенного сидеритом [уменьш. в 2 раза].

¹ Образцы для исследования автору предоставили геологи из Иркутска А. В. Горецкий и В. А. Ланин.





Структура окаменелой древесины в прозрачном шлифе (увел. в 75 раз). Их содержанием этих элементов в осадочных породах (глинах и сланцах)² земной коры. В окаменелом кипарисе присутствуют также, хотя и в незначительных количествах, молибден и серебро.

Образцы окаменелых деревьев из семейства хвойных имеют еще более почтенный возраст — верхнепалеозойский (240—340 млн лет). Они были найдены в угленосных отложениях Сибирской платформы, один — в центральной, а другой — в северо-западной ее части.

В первом образце древесина замещена халцедоном и кварцем, причем, как и в окаменелом кипарисе, форма и строение древесины остались в первозданном виде. Годичные кольца придают полированному куску окаменелого дерева особую декоративную выразительность, а сучки и ветки усиливают сходство с обыкновенным деревом.

Во втором образце окаменелого хвойного дерева основная масса ствола сложена сидеритом (FeCO_3), содержащим

марганец и частично преобразованным в окислы и гидроокислы железа и марганца. Благодаря этому, цвет обломков древесины темно-бурый, почти черный. В образце встречаются очень тонкие жилки кальцита, образовавшиеся позднее, чем само окаменелое дерево. Этот минеральный состав подтвержден и фазовым рентгеновским анализом.

Набор микроэлементов в окаменелых хвойных деревьях Сибирской платформы уже иной, чем в окаменелом болотном кипарисе из Монголии. Германий, цирконий, молибден и серебро не обнаружены вовсе или присутствуют в меньших количествах. Вместо них установлены элементы группы железа: никель, кобальт, марганец и другие. Причем количество цинка, никеля, кобальта оказалось выше средних содержаний этих элементов в осадочных породах земной коры. Эта геохимическая особенность окаменелых хвойных деревьев делает их похожими на магнетит (FeFe_2O_4) из железорудных месторождений Сибирской платформы. Так, в магнетите наиболее крупного и хорошо изученного Коршуновского месторождения³ среднее

содержание кобальта составляет $2,5 \cdot 10^{-3}$, а никеля — $8,7 \cdot 10^{-3}$ вес. %. Это сравнение интересно тем, что многие геологи объясняют присутствие никеля, кобальта, ванадия и других элементов-примесей в магнетитовых рудах исключительно заимствованием этих элементов непосредственно из окружающих пород. В данном случае, высокое содержание металлов в окаменелом дереве служит прямым указанием на их поступление с минерализованными гидротермальными растворами.

При микроскопическом изучении шлифов окаменелых деревьев не удалось обнаружить минералов циркония, никеля и всех других металлов, о которых шла речь. Несомненно, что все эти элементы находятся в рассеянном состоянии, будучи адсорбированными коллоидами кремнезема или захваченными в решетку сидерита при его кристаллизации в порах древесины.

В чем причина неодинаковой распространенности металлов в окаменелых деревьях? Для окончательного ответа слишком мало аналитических данных, но можно высказать следующее предположение. Различное содержание микроэлементов в изученных образцах скорее всего обусловлено неодинаковой геохимической обстановкой, в которой стволы деревьев превращались в камень.

Преобразование обломков болотного кипариса в минеральные тела происходило в пределах Монголо-Охотского подвижного пояса. В мезозойский период здесь преобладал гранитоидный магматизм и связанное с ним редкометальное оруденение. Ископаемые же деревья из семейства хвойных произрастали, а затем были захоронены и преобразованы в минеральные тела в платформенных условиях, т. е. в обстановке, характеризующейся базальтоидным вулканизмом и совершенно иной металлогенией.

Так что, каждый обломок окаменелого дерева хранит сведения и о физико-химических условиях минералообразования, и, в определенной мере, о металлогении областей, где росли, а затем были погребены в осадочных толщах древние леса.

² Виноградов А. П. — Геохимия, 1962, № 7, с. 555.

³ Вахрушев В. А., Воронцов А. Е. Минералогия и геохимия железорудных месторождений юга Сибирской платформы. М.: Наука, 1976.



Гидродинамические модели климата

Г. П. Курбаткин



Геннадий Павлович Курбаткин, член-корреспондент АН СССР, заведующий отделом теории климата Вычислительного центра Сибирского отделения АН СССР. Член Международной комиссии по динамической метеорологии Международного совета научных союзов. Работает в области гидродинамического моделирования климата и долгосрочного прогнозирования погоды.

Атмосфера, с точки зрения физика,— это термически расслоенная среда, содержащая зоны больших градиентов температуры и ветра, зоны, в которых происходит выделение скрытого тепла конденсации водяного пара, и зоны конвективной неустойчивости. Эти зоны перемещаются в пространстве и времени (меандрируют), образуя волны, которые могут передавать энергию на большие расстояния и при потере устойчивости движений порождают турбулентные вихри различных масштабов (от циклона до микроскопических вихрей с характерным размером около сантиметра). Таким образом, атмосфера проявляет себя как турбулентная среда; в то же время в ней наблюдаются и организованные, упорядоченные движения.

Каждый из нас знаком с регулярными периодическими изменениями в атмосфере с суточным и годовым основными циклами. Именно повседневный опыт формирует у каждого человека представления о климате, который расценивается обычно как мягкий, суровый, теплый, влажный, благоприятный и т. д. С позиций специалиста, климатом можно назвать средние многолетние характеристики атмосферы для данного региона, совокупность и повторяемость погод с их сезонными изменениями.

Понятно, что поскольку Земля быстро вращается вокруг своей оси, суточные периодические изменения в притоке тепла от

Солнца не оказывают сколько-нибудь заметного влияния на крупномасштабные термодинамические процессы. Напротив, сезонные с годовым периодом изменения в притоке тепла настолько существенны, что без их учета, пожалуй, нельзя пытаться обнаружить и понять роль различных взаимодействующих физических процессов, определяющих устойчивые и неустойчивые циркуляции в атмосфере и, в конце концов, формирующих климат.

Но и осредненные климатические характеристики атмосферы претерпевали в прошлом и обнаруживают в наше время многие изменения и флуктуации.

В этой статье будут рассмотрены только короткопериодные флуктуации климата во временных масштабах от сезона до нескольких лет, представляющие большой научный и практический интерес.

ДАННЫЕ НАБЛЮДЕНИЙ

В качестве одной из климатических характеристик рассмотрим среднемесячные поля температуры воздуха у поверхности Земли, их пространственное распределение, сезонные и межгодовые изменения, а также некоторые особенности распределения аномалий температуры (отклонений от климатических норм). Известно, что наибольший в течение года диапазон измене-

ния среднемесячной температуры воздуха наблюдается зимой в средних широтах. На среднемесячных полях температуры прослеживаются 2—3 волны вдоль кругов широты. При этом самые низкие температуры встречаются к западу от восточных берегов Азии и Северной Америки, т. е. на континентальной стороне, и самые высокие — к западу от западных берегов Европы и Северной Америки, т. е. на океанической стороне.

Среднемесячные поля температуры обладают постоянством в одинаковые се-

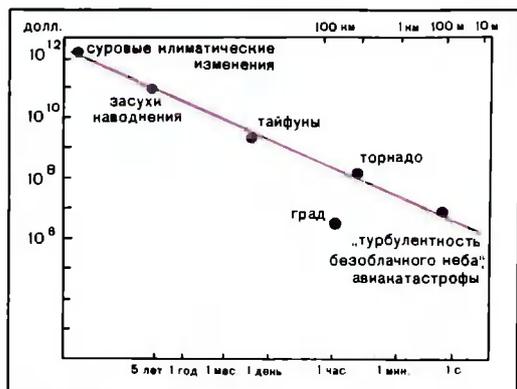


Иллюстрация «чувствительности» экономики к причудам погоды и климата. На графике показана грубая оценка материального ущерба (в долларах), наносимого неблагоприятными эффектами изменчивости атмосферы (по У. Маундеру, 1970). Масштабы таких эффектов указаны в единицах времени (нижняя шкала) и характерного пространственного размера (верхняя шкала). Оценки экономического ущерба от длительных засух, наводнений, суровых ухудшений климата сделаны на основе расчетов по всему Северному полушарию.

зоны. И в то же время они обнаруживают колебания, небольшие, но важные для жизни и хозяйственной деятельности. Иными словами, осредненная по площади континента среднемесячная температура воздуха (например, для июля) может быть почти неизменной в течение нескольких лет, т. е. осредненный по площади континента климат может быть неизменным. Однако более жаркое лето (или более суровая зима) могут наблюдаться то в западных районах континента, то в восточных. Следует отметить, что изредка возможны также длительные изменения температуры над целыми континентами.

Другая климатическая характеристика — тепловой поток, определяемый как

количество тепла, протекающего за единицу времени через единичную поверхность. Из наблюдений следует, что среднемесячные потоки тепла к полюсу, например, через единичные вертикальные площадки вдоль 60° с. ш. в нижнем слое атмосферы представляют собой 4—5 волн вдоль этого круга широты. Наблюдения показывают также, что потоки тепла «привязаны» к определенным долготам и имеют межгодовые флуктуации.

В свою очередь, отклонения среднемесячных полей температуры воздуха и потоков тепла у поверхности Земли от нормального годового цикла (т. е. аномалии) не обязательно привязаны к определенным долготам. Для аномалий температуры воздуха также характерны 1—3 волны вокруг широты, но аномалии могут сохраняться в течение двух и более лет; для них возможна также и долготная сопряженность.

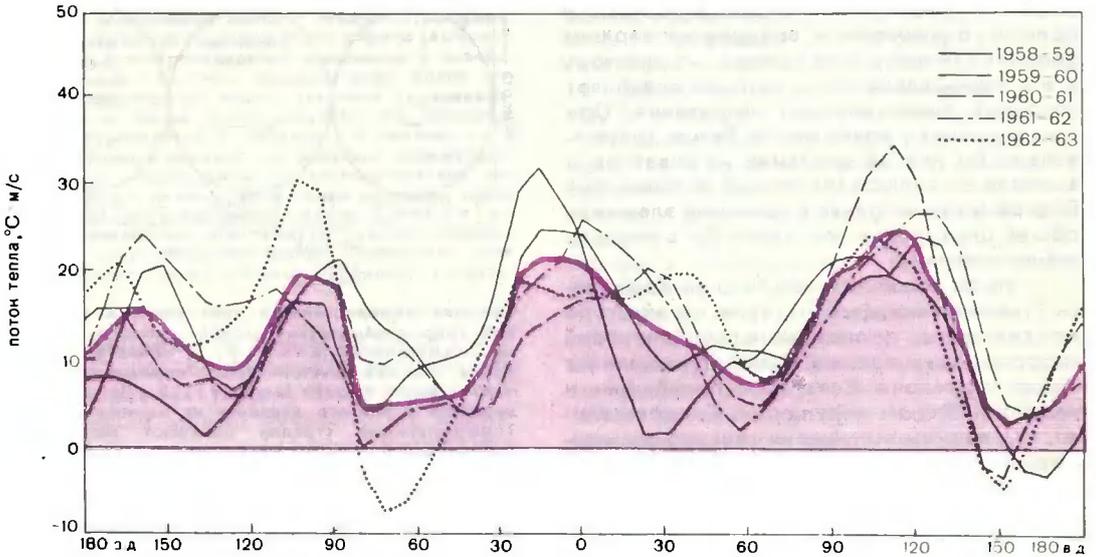
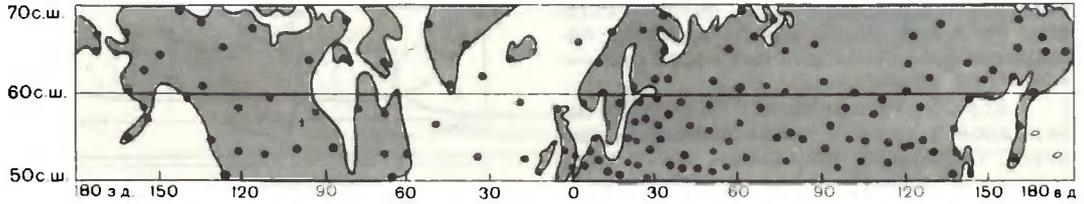
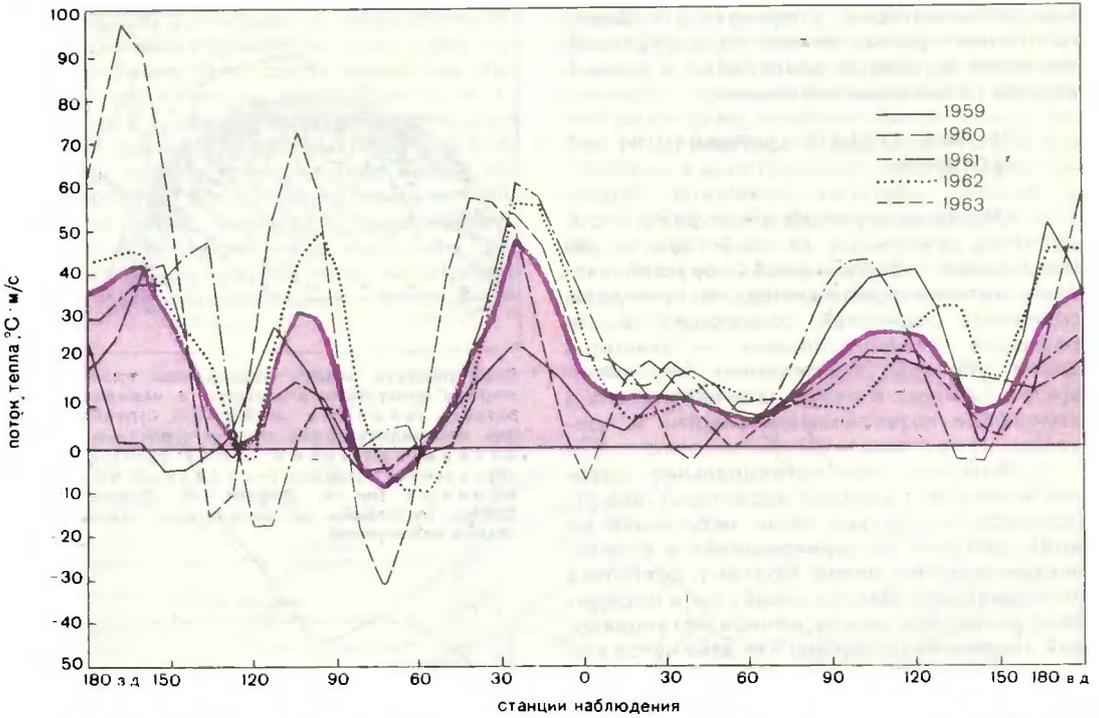
Почему же на среднемесячных картах температуры воздуха наблюдаются, с одной стороны, заметное постоянство и периодичность, с другой — некоторые длительные отклонения?

Прежде всего важно отметить, что погода и климат, которые наблюдаются в тонком слое у поверхности Земли, где мы живем, являются результатом очень сложных физических, химических и динамических процессов, имеющих место в той части атмосферы, которая на километры простирается над нами и занимает 99,98%.

Среднемесячные поля температуры воздуха у поверхности Земли представляют собой статистические проявления сильно изменяющейся в течение месяца крупномасштабной циркуляции атмосферы в целом — общей циркуляции атмосферы, с которой связаны изменения и крупномасштабного поля температуры, и всей погоды.

Общая циркуляция атмосферы зимой в средних широтах представляет собой меандрирующий западно-восточный поток со средней скоростью у поверхности Земли 10 м/с. С высотой скорость ветра растет и в 10 км от поверхности достигает 50—100 м/с. Временами этот поток распадается на 5—8 длинных квазигоризонталь-

Долготные профили потоков тепла к полюсу через 60° с. ш. для индивидуальных январей (вверху) и для индивидуальных лет (внизу). Закрашенные области показывают многолетние средние значения (по А. Оорту, 1974).



ных волн, которые у поверхности Земли принимают форму замкнутых циркуляций: циклонов (с низким давлением) и антициклонов (с высоким давлением).

ТЕОРИЯ ОБЩЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ

Общая циркуляция атмосферы определяется важнейшим ее свойством — так называемой бароклинной неустойчивостью, которая порождается, по сути дела, солнечной радиацией, создающей температурный градиент «полюс — экватор». Таким образом, бароклинная неустойчивость возникает в результате накопления в атмосфере потенциальной энергии и превращения ее в кинетическую энергию ветра.

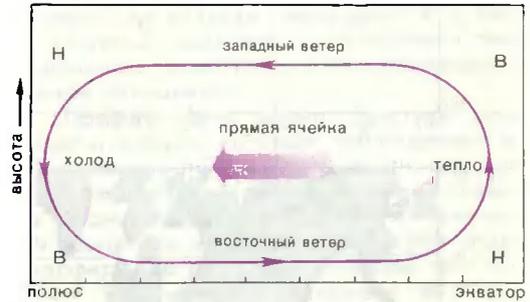
Заметим, что потенциальная энергия — не очень удобная характеристика атмосферы, поскольку лишь небольшая ее доля доступна для превращения в кинетическую энергию ветра. Поэтому доступная потенциальная энергия может быть определена разностью между полной потенциальной энергией атмосферы как замкнутой системы (без притоков и потерь тепла) и минимумом потенциальной энергии, не превращаемой в кинетическую, которая осталась бы в результате адиабатического перераспределения воздушных масс с различными температурами.

Если бы поверхность Земли была однородной и планета неврачающейся, градиент широтного нагревания атмосферы «полюс — экватор» приводил бы к единственной ячейке циркуляции с восходящей ветвью у экватора и нисходящей ветвью у полюса, с движением воздуха на верхних уровнях к полюсу, а на нижних — к экватору, т. е. с таким движением, которое ослабляет градиент радиационного нагревания. При этих условиях у поверхности Земли существовало бы низкое давление на экваторе и высокое на полюсе (полярный антициклон). В такой модели только отдельные элементы общей циркуляции совпадали бы с реально наблюдаемыми.

Из-за вращения Земли сила Кориолиса (увеличивающаяся от нуля на экваторе до величины, пропорциональной угловой скорости вращения на полюсах) отклоняет ветер направо в Северном полушарии и налево в Южном полушарии. Следовательно, в Северном полушарии течение воздушных масс к полюсу на верхних уровнях атмосферы получает сильную восточную составляющую (западный ветер), а течение к экватору у поверхности Земли получает западную составляющую (восточный ветер).



Схематическая модель осредненной вдоль кругов широты циркуляции атмосферы в меридиональном разрезе [цветные линии]. Струйные течения, перпендикулярные плоскости рисунка, обозначены кружками. Схема фронтов и линий тока у земной поверхности показана черными линиями [по А. Дефант, Ф. Дефант, 1958]. Схемы составлены по результатам метеорологических наблюдений.

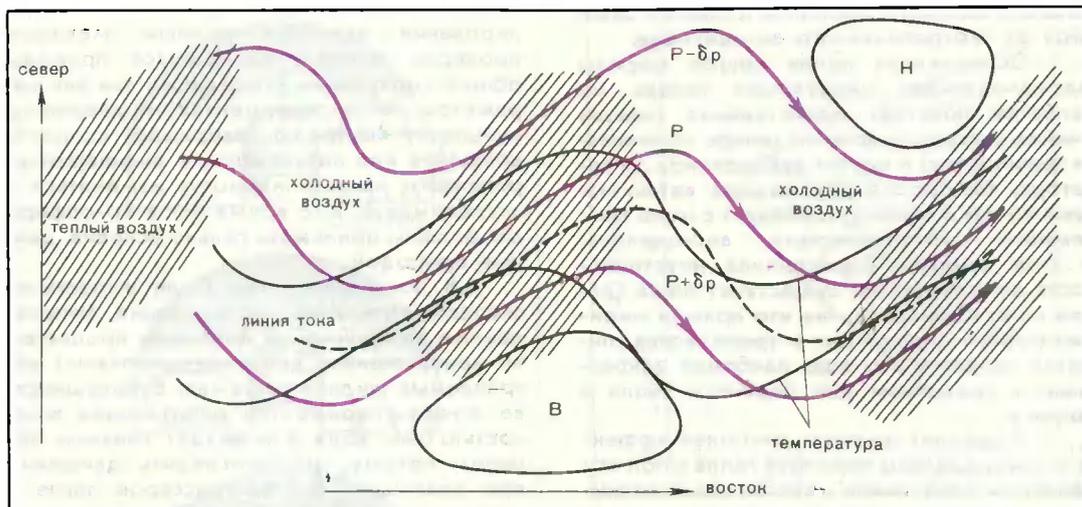


Средняя меридиональная циркуляция в упрощенной гидродинамической модели климата: зональная симметричная (вверху) и зональная циркуляция, ставшая неустойчивой и породившая волны вдоль кругов широты (внизу). В и Н — области высокого и низкого давления на заданной высоте. Горизонтальные стрелки означают направление и относительную величину переноса тепла от экватора к полюсу средней меридиональной циркуляцией (открытые стрелки) и волновым движением (сплошные стрелки). Видно качественное соответствие гидродинамического моделирования с данными наблюдений (см. схему А. и Ф. Дефант).

В результате уменьшается эффективность переноса тепла к полюсу ветром, и при достаточно большой скорости вращения этот перенос практически прекращается, в то время как меридиональный температурный градиент продолжает возрастать, сохраняя при этом круговую симметрию около полюса. Понятно, что могут наступать моменты, когда малые меридиональные изменения в поле температуры в зональном (восточно-западном) направлении могут стать динамически неустойчивыми и расти.

температуры воздуха (в среднем падение температуры с высотой составляет 6°C на 1 км). Это значит, что доступная потенциальная энергия, генерируемая солнечной радиацией, неравномерной между полюсом и экватором, переходит, главным образом, в кинетическую энергию волн или вихрей среднего масштаба (длиной в 5 тыс. км), т. е. в достаточно упорядоченные движения.

Если продолжать следить за неустойчивыми возмущениями, то оказывается, что



Типичная бароклиновая волна в средней атмосфере, движущаяся вдоль среднего круга широты (45°с. ш.), связанная с внетропическими циклонами у поверхности Земли. То, что температурная волна отстает (западнее) от волны давления (а следовательно и от линии тока), означает, что холодный воздух переносится к экватору, а теплый — к полюсу. Отсюда следует, что зонально асимметричные вихри ответственны за систематический перенос тепла к полюсу. На рисунке показаны также линии тока геострофического ветра. За штрихованы области теплого воздуха, соответствующие гребням температурной волны. Ложбинам этой волны соответствуют области холодного воздуха.

Развитие такой зональной асимметрии и называется бароклиновой неустойчивостью. В рамках теории бароклиновой неустойчивости можно показать, что возмущения с размерами в $1/5$ или $1/8$ круга широты будут расти быстрее других, тогда как самые длинные, планетарного масштаба возмущения стабилизируются ускорением Кориолиса, а короткие — статически устойчивым вертикальным градиентом

волны, образующиеся в полярном антициклоне у поверхности Земли, растут в результате бароклиновой неустойчивости, становятся обособленными, перемещаются к югу и в конце концов прослеживаются в субтропиках. Так формируется субтропический, т. е. второй пояс высокого давления у поверхности Земли. Между двумя поясами высокого давления в средних широтах оказывается пояс низкого давления, где постоянно генерируются внетропические циклоны.

Когда из-за вращения Земли под действием силы Кориолиса устанавливаются упомянутые выше пояса приземного атмосферного давления, это новое распределение давления должно приблизительно уравновешиваться силой Кориолиса, т. е. горизонтальное движение воздуха, так называемый геострофический ветер будет направлено вдоль изобар, а скорость его пропорциональна горизонтальному градиенту давления.

Такое распределение широтных зон приземного атмосферного давления приводит к тому, что западное течение воздушных масс в Северном полушарии, которое, как мы говорили, существует только на большой высоте, теперь простирается и в нижнюю атмосферу между зоной субтропического высокого давления (так называемыми конскими широтами, где практически отсутствуют ветры) и поясом внетропических циклонов (поясом «ревущих 40-х»). Слабые восточные течения у поверхности Земли все еще существуют в этой модели между внетропическим и полярным поясами высокого давления, а также к экватору от субтропического антициклона.

Осредненная вдоль кругов широты меридиональная циркуляция теперь не является простой: единственная раньше ячейка «экватор—полюс» теперь стягивается (сжимается) к югу от субтропиков до экватора, так что ее нисходящая ветвь, направленная к полюсу, совпадает с осью приземного субтропического антициклона. В этих широтах бароклинная неустойчивость фактически не существует из-за слабой силы Кориолиса, так что прямая меридиональная циркуляция в тропических широтах является все еще наиболее эффективным средством для переноса тепла к полюсу.

В средних широтах наиболее эффективным средством переноса тепла к полюсу являются бароклинно неустойчивые волны. Характерная для них малая разность фаз между волнами температуры и воздушного течения (выводимое следствие уравнений гидродинамики) достаточна, чтобы эффективно переносить тепло к полюсу и в то же время осуществлять превращение доступной потенциальной энергии в кинетическую энергию волн.

Наконец, можно вывести теоретически и вычислить по реальным данным энергетически обратную (т. е. такую, при которой холодный воздух поднимается вверх) зонально осредненную меридиональную циркуляцию в умеренных широтах, переносящую небольшое количество тепла к экватору и соответственно превращающую кинетическую энергию атмосферы в потенциальную. Эта обратная вторичная циркуляция частично компенсирует превращение потенциальной энергии в кинетическую за счет неустойчивости бароклинных волн.

Так может быть объяснен в главных чертах наблюдаемый средний установившийся режим общей циркуляции атмосферы.

ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЩЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ

Фундаментальные свойства общей циркуляции атмосферы не зависят от сферической геометрии или других параметров, свойственных исключительно Земле, а могут быть общими для всех вращающихся дифференциально нагреваемых жидкостей. Если это предположение действительно правильно, оно может быть продемонстрировано с помощью лабораторного эксперимента.

Эксперименты лабораторного моделирования являются ценным методом проверки гипотез, касающихся природы общей циркуляции атмосферы, так как параметры в экспериментах подвержены внешнему контролю. Например, скорость вращения или интенсивность дифференцированного нагревания могут изменяться в эксперименте, в то время как в атмосфере мы должны принимать только условия, данные природой.

В последние годы были выполнены экспериментальные исследования, направленные на понимание динамики процессов во вращающихся дифференцированно нагреваемых жидких системах. В большинстве этих экспериментов работающей жидкостью была вода, а не воздух, главным образом потому, что проследить движения при различных сортах трассеров легче в жидкости, чем в газе. В одной группе экспериментов прибор состоял из цилиндрического сосуда, который вращался вокруг своей вертикальной оси. Сосуд нагревался на его внешней стенке и на дне и охлаждался на внутренней стенке и сверху. В этих экспериментах жидкость довольно грубо моделирует одну полусферу в атмосфере, причем внешняя стенка сосуда соответствует экватору, а внутренняя — полюсу.

Качественно эксперименты показывают, что для определенных комбинаций скоростей вращения и нагревания течение в цилиндрическом приборе оказывается максимально симметричным, а зональное течение — устойчивым.

Однако для других комбинаций скоростей вращения и нагревания наблюдаемое течение не симметрично; оно состоит из нерегулярных флуктуаций, подобных волнам и меандрирующим зональным струям. В таких экспериментах трассеры обнаруживают на поверхности жидкости процессы, очень сходные с наблюдаемыми в средних широтах на высотных картах погоды.

Фундаментальные различия между этими двумя режимами течений заключаются в процессе переноса тепла. В первом случае этот перенос выполняется обширной меридиональной циркуляцией конвективного типа, как в тропических широтах в атмосфере (этот режим возникает при медленных вращениях и слабых меридиональных температурных градиентах). Во втором случае главную часть этого переноса периодически обеспечивают квазигоризонтальные волны (этот режим возникает

при быстром вращении и большом температурном градиенте).

Задавая в модельных экспериментах такую скорость вращения и режим нагревания и охлаждения жидкости, которые соответствуют параметрам Земли как планеты, можно наглядно убедиться, что наиболее активные атмосферные процессы, которые происходят в средних широтах, действительно определяются механизмом бароклинической неустойчивости.

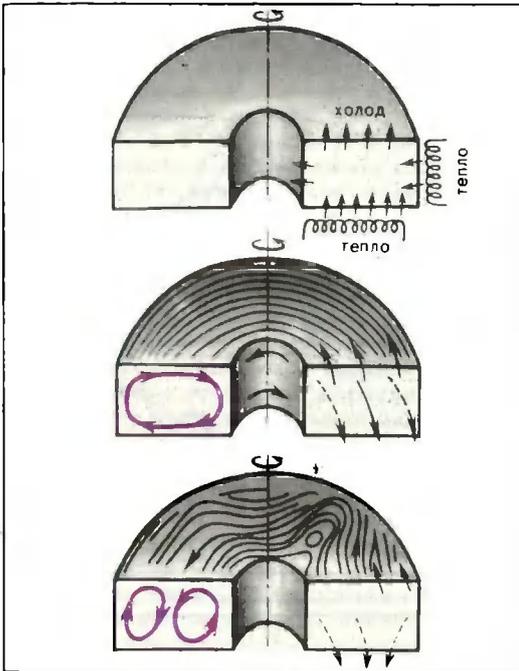


Схема лабораторного моделирования общей циркуляции атмосферы. Вращающийся цилиндрический сосуд с жидкостью нагревается снизу и снаружи и охлаждается сверху и внутри (вверху). В зависимости от интенсивности нагревания и от скорости вращения реализуется либо симметричное течение жидкости в сосуде (в центре), либо сложное волнообразное течение (внизу). Замкнутые траектории в сечениях цилиндра показывают вертикальную циркуляцию; стрелками обозначены потоки относительно вращающегося кольца. В обоих случаях поток изменяется с высотой; в последнем — и с азимутальным углом, причем здесь радиальные компоненты могут быть локально очень большими. Качественно результаты лабораторного моделирования соответствуют данным метеорологических наблюдений (см. схему А. и Ф. Дефант).

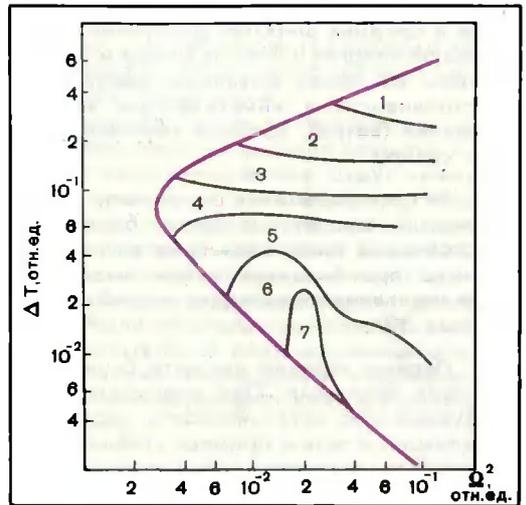


Диаграмма переходов от симметричного к волновому движению жидкости во вращающемся сосуде (по Д. Фульцу и др., 1959). По оси абсцисс отложена величина, пропорциональная квадрату скорости вращения Ω^2 , по оси ординат — пропорциональная (для данной скорости вращения) разности температур ΔT на соответствующих стенках цилиндра. Цветная кривая разделяет область параметров, при которых осуществляется симметричное (слева от кривой) и волновое течение жидкости. Цифры показывают преобладающее количество волн в волновом течении. Цветная кривая разделяет также верхнюю и нижнюю часть области симметричного режима; нижняя соответствует невысоким значениям ΔT , а верхняя — большим значениям этого параметра. До самого последнего времени было принято считать, что применительно и реальной атмосфере верхний симметричный режим не наблюдается. Каждый эксперимент был выполнен таким образом, что разность температур ΔT возрастала медленно от нуля после достижения нужной постоянной скорости вращения.

КВАЗИЦИКЛИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ ОБЩЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ

Итак, если существует теория общей циркуляции атмосферы, то нельзя ли на ее основе попытаться объяснить тот всем хорошо известный факт, что в реальной атмосфере в средних широтах каждые две-три недели изменяется «погода»: образуются новые циклонические и антициклонические квазигоризонтальные вихри и изменяется планетарная циркуляция в целом. Очевидно, эти основные циклы связаны с накоплением в средних широтах доступной потенциальной энергии и с последующим превращением ее через механизм бароклинной неустойчивости в кинетическую энергию движения (ветра), которое переносит тепло к северу.

Теория позволяет рассчитать так называемый жизненный цикл бароклинно неустойчивых внетропических вихрей. Эти расчеты производятся путем численного моделирования с помощью мощных современных ЭВМ.

Первые модели климата были относительно простыми. Они описывали самовозбуждаемую неустойчивость, свободные осцилляции и затем процесс стабилизации. Они не были усложнены рассмотрением неоднородных свойств нижней границы атмосферы с континентами, крупными горами и океаном. Тем не менее были сделаны попытки дать качественное объяснение связи возможных короткопериодных флуктуаций климата с последовательной серией энергетических циклов, которые можно в упрощенном виде представить следующим образом.

Поскольку, как отмечалось, бароклинно неустойчивые волны — это эффективный механизм переноса тепла, то, когда они вырастают до некоторой определенной амплитуды, температурная разность «полюс — экватор» уменьшается быстрее, чем солнечная радиация может создавать эту разность. Поэтому дальнейший рост волн прекращается (например, на 5-й день), система оказывается ниже порога неустойчивости, а волны температуры и воздушного течения оказываются в фазе, сохраняя конечную амплитуду. Эта стадия «жизненного цикла» волн называется окклюзией, хорошо известной из ежедневных карт погоды. В этот момент квазидвухмерный (баротропный) характер течения требует, чтобы энергия волн трансформировалась в кинетическую

энергию среднего зонального потока, тем самым интенсифицируя планетарное струйное течение в направлении с запада на восток. В это время радиация становится преобладающей, в атмосфере возобновляется запас доступной потенциальной энергии, и когда будет достигнут порог бароклинной неустойчивости, течение снова станет неустойчивым (например, на 10-й день) — начнется новый цикл.

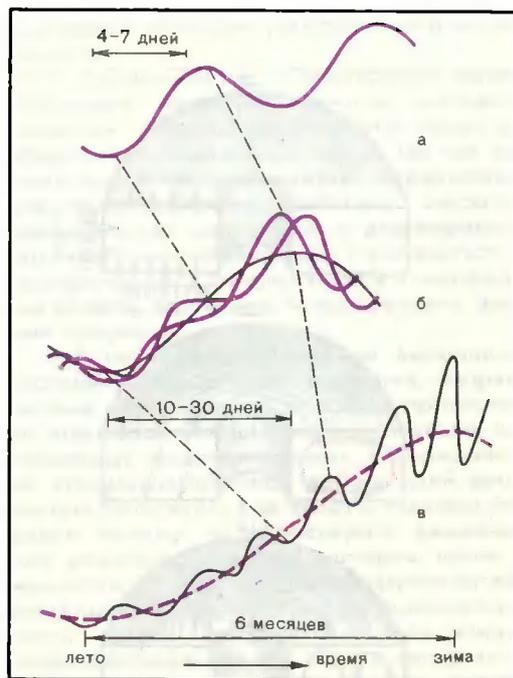


Схема изменения во времени волновой кинетической энергии атмосферного движения. В гидродинамических моделях климата эта энергия рассматривается в трех основных аспектах: а — энергия отдельного внетропического циклона, который проходит через стадии образования, роста, стабилизации и затухания (в результате перехода этой энергии в энергию зонального потока); б — цикл индекса (пунктирная кривая), в котором складываются энергии нескольких внетропических циклонов (на рисунке показаны два), существующих в различных географических регионах; таким образом, цикл индекса характеризует волновую кинетическую энергию по всему полушарию; в — осредненный за сезон цикл индекса; его величина несколько отличается от года к году. (Осреднение производится за период в два месяца: например, с 1 января по 1 марта, со 2 января по 2 марта и т. д.)

МОДЕЛИ КЛИМАТА С ОДНОРОДНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ЗЕМЛИ

Что же дают модели климата с однородной поверхностью Земли для понимания реальных процессов, происходящих на нашей планете?

Так как атмосфера — это очень сложная физическая система, естественные (т. е. не связанные с астрономическими причинами или человеческой деятельностью) сезонные и межгодовые вариации климата в принципе возможны и без воздействия неоднородных и нестационарных границ атмосферы: они могут иметь место в результате внутренних нелинейных взаимодействий системы. Именно эту особенность формирования климата и позволяют изучать подобные модели.

В одной из них половина «жизни» единичного волнового возмущения составляет 4—7 дней. Последовательно могут возникать другие волны, образующие семейство циклонов. Несколько циклонов (от 5 до 8) сосуществуют на различных долготах, но, возможно, в несколько различной фазе развития. Если для такой картины вычислить волновую кинетическую энергию по всему Северному полушарию, а также кинетическую энергию зональной циркуляции (так называемый индекс зональной циркуляции атмосферы), то оказывается, что эти величины квазипериодически меняются с полупериодом от 10 до 30 дней. При этом максимальному значению волновой кинетической энергии соответствует низкий индекс, а минимальному — высокий.

Таким образом, мы приходим к важному понятию гидродинамического моделирования климата — понятию цикла индекса. В модели климата с однородной поверхностью Земли, о которой идет речь, в течение 6-месячного интервала в Северном полушарии имеет место несколько таких циклов индекса.

Вычисление индекса зональной циркуляции атмосферы по реальным данным, например, за 5 лет позволяет видеть циклы, подобные описанным выше. Однако сравнение реальной картины с результатом моделирования позволяет констатировать, что здесь мы еще далеки от понимания причин образования флуктуаций климата, например флуктуаций среднемесячных полей температуры воздуха, которые, как мы уже знаем, проявляют квазипериодичность, а их максимумы и минимумы обнаруживают привязанности к определенным долготам.

Действительно, в моделях с однородной поверхностью Земли подвижные неста-

ционарные волны среднего масштаба в поле температуры (так же, как и в поле давления) имеют случайную долготную фазу и характерный масштаб времени, меньший, чем один месяц. Поэтому волны, образующиеся в течение месяца несколько раз на различных произвольных долготах, при осреднении по времени как бы гасят друг друга. Построенные в рамках этих моделей среднемесячные карты температур не обнаружили бы реально наблюдаемых на определенных долготах очень длинных, планетарного масштаба волн и их малых, но важных для жизни и хозяйственной деятельности людей аномальных смещений. Следовательно, они порождаются главным образом какими-то квазистационарными «заякоренными» процессами.

Понятно, что если причины длительных межгодовых изменений климата, в том числе и квазициклических, будут «внешними» по отношению к атмосфере, то модели климата, несомненно, усложнятся, но сами длительные изменения могут оказаться более детерминированными и поэтому, возможно, более предсказуемыми, чем если бы они были обусловлены только случайными, в значительной степени сложными взаимодействиями возмущений, порождаемых различными неустойчивыми процессами в атмосфере.

МОДЕЛИ КЛИМАТА С НЕОДНОРОДНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ЗЕМЛИ

Вспомним, что солнечная радиация проходит сквозь атмосферу. Та ее часть, которая не отражается от облаков, поглощается на поверхности планеты и вновь излучается ею в виде инфракрасного излучения, которое легко поглощается атмосферой и нагревает ее.

Атмосфера не обладает большой теплоемкостью, поэтому она не может иметь термальной «памяти». Однако такой памятью обладает поверхность Земли. Учет этого обстоятельства приводит к более адекватным моделям климата, усложняющимся по мере того, насколько удается приблизиться к фиксации в модели реального распределения суши и океана на земной поверхности.

В гидродинамической модели климата с однородной по горизонтали поверхностью Земли, полностью покрытой континентами без теплоемкости:

температура поверхности приспосабливается мгновенно, так чтобы удовлетворить условию теплового баланса на поверхности континента;

скорость роста бароклинной неустойчивости обусловлена только динамическими процессами;

долготная фаза порождаемых неустойчивостью волн случайная;

сезонные вариации большие;

среднемесечные поля являются зонально симметричными.

В модели с однородной по горизонтали поверхностью Земли, полностью покрытой океаном большой теплоемкости:

температурная неоднородность по горизонтали порождается не только бароклинной неустойчивостью, но также и квазистационарными температурными волнами планетарного масштаба;

метеорологические поля, осредненные по многим циклам индекса, зависят от долготы!

В модели с океаном большой теплоемкости и континентами с малой теплоемкостью:

из-за перераспределения тепла между океаном и континентами его запасы в океане медленно меняются и порождают межгодовые изменения параметров атмосферы!

Из данного рассмотрения можно сделать вывод, что с термическими и динамическими эффектами неоднородной поверхности Земли, во-первых, связано образование квазистационарных планетарных волн в распределении температуры, атмосферных течений и т. д. Как следствие этого — неравномерное по широте «полюс—экватор» солнечное нагревание порождает бароклинно неустойчивые динамические процессы преимущественно на определенных долготах.

Во-вторых, из-за малой, но не нулевой теплоемкости континентов и в то же время большой теплоемкости (а значит и большой инерции) океана порождаются медленные изменения от года к году нижнего граничного условия атмосферы.

Причем, хотя эти два медленно изменяющихся фактора влияния континентов и океана на атмосферу порождаются атмосферными динамическими процессами, важно подчеркнуть, что они могут некоторое время существовать независимо от протекающих в то же время более быстрых динамических атмосферных процессов. Другими словами, нижнее граничное условие в течение некоторого времени может односторонне влиять на атмосферу.

Казалось бы, теперь объяснение природы и даже прогноз аномалий климата — сезонных и межгодовых — близки. Но, оказывается, в атмосфере обнаруживаются еще такие процессы планетарного масштаба, которые не могут существовать как без бароклинно неустойчивых динамических процессов, так и без термической и динамической неоднородностей континентов и океана. Какова их относительная роль по отношению к процессам, зависящим только от начальных условий, численно прогнозировать которые, как известно, возможно не более чем на несколько недель, и от чисто граничных условий, предсказуемость кото-

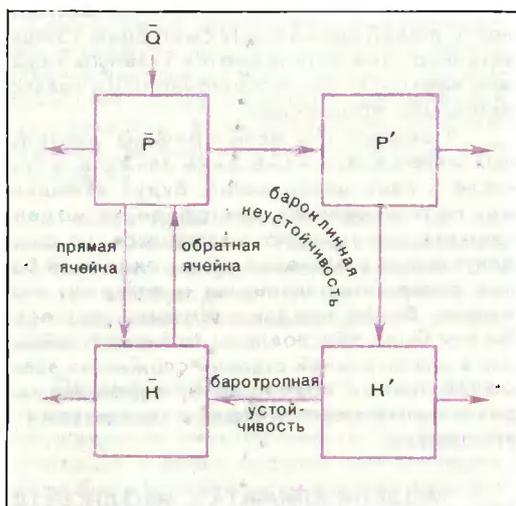


Схема баланса энергии в гидродинамических моделях климата. \bar{Q} — внешний тепловой источник среднезональной доступной потенциальной энергии (\bar{P}); P' — волновая доступная потенциальная энергия; K и K' — среднезональная и волновая кинетическая энергия, соответственно. Стрелки без обозначений — мелкомасштабные стоки энергии.

в асимптотическом состоянии температура поверхности однородна по долготе, но имеет широтный градиент, однако без сезонных изменений; этот градиент также порождает бароклинную неустойчивость и цикл индекса;

движения в океане участвуют в переносе тепла к полюсу, ослабляя интенсивность бароклинных волн в атмосфере;

температура поверхности приспосабливается медленно и обладает относительно слабыми сезонными изменениями.

В модели с океаном большой теплоемкости и континентами без теплоемкости:

рых, вообще говоря, возможна на сезон и на несколько лет?

В настоящее время появляется все больше расчетов, подтверждающих, что планетарные климатические волны зимой порождаются динамическими процессами вследствие большого температурного градиента «полюс—экватор», а не температурными контрастами между континентами и океаном, роль которых вторична. Кроме того, оказывается, что в среднем зимой планетарные волны не порождаются и даже не поддерживаются, а, скорее, несколько разрушаются тепловым воздействием океана.

Этот результат касается фундаментальной структуры современного климата. Прежде всего, он говорит о том, что только очень сложные модели могут быть использованы для исследований, связанных с проблемой изменения климата и контроля за его изменением. Позже мы вернемся к этому вопросу.

Таким образом, для прогнозирования аномалий планетарных волн нужно исключительно точно описывать бароклинно неустойчивые квазициклические процессы, связанные с атмосферными волнами среднего масштаба. В свою очередь, для прогнозирования этих волн нужно в равной мере точно описывать эволюцию квазистационарных планетарных волн, сложным образом зависящих от термодинамического состояния океана. Другими словами, для прогноза (или оценки) короткопериодных вариаций климата нестационарные модели целесообразно разрабатывать «балансными», принимая во внимание природу основных процессов генерации и поддержания длинных атмосферных волн, поскольку точность модели климата будет определяться самой слабой ее частью. Например, очень точное вычисление радиации в модели может быть сведено на нет плохим моделированием облаков.

РЕАЛЬНОСТЬ

Мы уже знаем, что динамические процессы сильно связаны с циклом индекса, в котором можно различать три стадии (фазы): возникновение (без внешних воздействий) бароклинной неустойчивости, свободные осцилляции и процесс стабилизации — нелинейную баротропную устойчивость. Следует обратить внимание, что именно на стадии баротропной устойчивости и усиления струйного течения атмосферных масс возникает термически обратная зонально осредненная вдоль кругов широты меридиональная циркуляция, когда

кинетическая энергия ветра превращается в доступную потенциальную энергию.

Нелинейная баротропная устойчивость и превращение кинетической энергии волн в энергию зонально осредненного течения воздуха наблюдается на осредненной по времени и по полусфере схеме баланса энергии в реальной атмосфере. Но при более детальном рассмотрении оказывается, что в действительности ускорение главных струйных течений зимой имеет место толь-

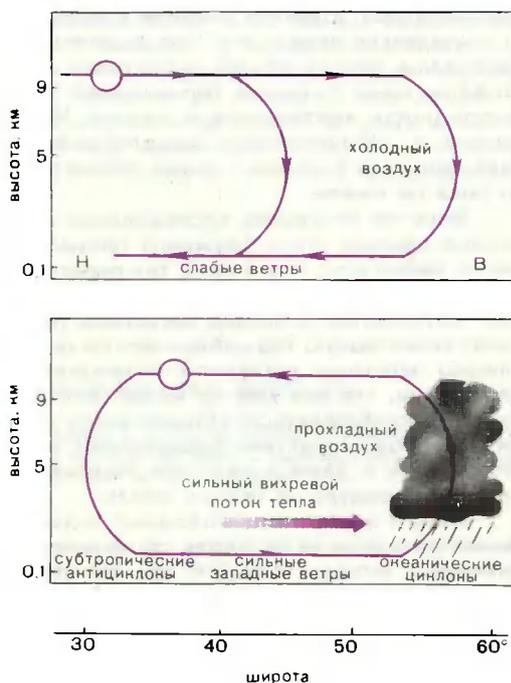


Схема меридиональной циркуляции атмосферы над континентами (вверху) и над океаном (внизу).

Над континентами сильно охлажденный воздух движется на юг, вызывая прямую термическую циркуляцию и усиливая струйное течение. Это означает, что над континентами зимой на определенной фазе цикла индекса реализуется режим, наблюдавшийся при лабораторном моделировании и обозначенный на соответствующем рисунке как «верхний симметричный режим».

Над океаном в этих же широтах наблюдается ослабление струйного течения, термически обратная меридиональная циркуляция, сильный волновой (циклонический) перенос тепла и северу.

На схемах и рисунках обозначены струйные течения — сильные западные ветры (перпендикулярные плоскости рисунка).

ко над континентами вблизи восточных берегов Азии и Северной Америки. Над океанами же наблюдается замедление струйных течений. Однако в тех местах, где наблюдается ускорение струйных течений, доминируют, оказывается, сильные прямые меридиональные циркуляции. Более того, каждая из них в 10 раз интенсивнее, чем осредненная по всем долготам. Вниз по течению на восток над поверхностью океана доминируют в равной мере сильные термически обратные меридиональные циркуляции. Таким образом, хотя основная причина циклических изменений в обменах энергии — это ответ на порождаемый солнечной радиацией температурный градиент «полюс—экватор», ответная реакция атмосферы значительно усложняется по сравнению с выводами теории общей циркуляции атмосферы из-за большой термической неоднородности континентов и океана. Численного и лабораторного моделирования этого процесса в целом с такой точностью мы пока не имеем.

Лишь на основании исследований отдельных звеньев этого сложного процесса можно заключить, что зимой температурный градиент «полюс—экватор» под влиянием континентов и океана настолько усиливает планетарную термобарическую циркуляцию запасами доступной потенциальной энергии, что она уже не может реализоваться (освободиться) образованием серии циклонов вследствие бароклинной неустойчивости и даже вследствие прорывов холодного воздуха на теплый океан.

Вместо этого очень холодный воздух сначала движется на юг вдоль прохладного континента, вызывая сильную прямую термическую меридиональную циркуляцию в этих регионах над континентами, а сильно нагретый воздух из субтропического антициклона над океаном — на север на теплый океан. Далее, вследствие естественного нагревания холодного воздуха над прохладными континентами и охлаждения сильно нагретого воздуха над теплым океаном происходит частичное «разрушение» планетарной температурной волны. Об этом «падароксально» явлению уже упоминалось.

Постепенно вследствие меридиональной циркуляции и частичного разрушения планетарной температурной волны запасы доступной потенциальной энергии, главным образом, в планетарных волнах масштаба континентов, существенно уменьшаются. Течение становится более зональным, и поток охлажденного воздуха устремляется на юго-восток на теплый океан, порождая серию циклонов.

Таким образом, в реальной атмосфере теплообмен происходит посредством гораздо более сложных термодинамических циркуляций, во многих случаях взаимнокомпенсирующихся и в пространстве и во времени. Описанное выше математическое моделирование циклов индекса не воспроизводит эти сложные процессы с различными режимами теплообмена над континентами и над океаном, со взаимнокомпенсирующимися циркуляциями, а представляет собой пока лишь моделирование некоторых средних (внешних) эффектов. Отсюда можно понять, почему для численного прогноза (только в Северном полушарии) короткопериодных вариаций климата (по существу, только планетарного масштаба волн) нужны начальные данные в обоих полушариях и в океане; нужна наблюдательная сеть с пространственным разрешением в атмосфере не более 1 км по вертикали (40 уровней) и около 100 км по горизонтали (40 тыс. узлов сетки).

К настоящему времени сделан гигантский шаг в сложном моделировании современного асимптотического состояния климата. Самые сложные модели включают годовой цикл, гидрологию атмосферы и континентов. Для вычисления потока солнечной радиации задается сезонное изменение инсоляции на верхней границе атмосферы. Ослабление солнечной радиации и перенос длинноволновой радиации, излучаемой Землей и атмосферой, вычисляются с учетом эффектов облаков, водяного пара, углекислого газа и озона. Содержание углекислого газа в атмосфере предполагается всюду постоянным. Зональное однородное распределение озона задается как функция широты, высоты и сезона. Зависящее от времени пространственное распределение водяного пара рассчитывается в результате интегрирования по времени прогностического уравнения для водяного пара, включающего: сложное трехмерное движение водяного пара, вертикальное перемешивание водяного пара в планетарном пограничном слое, испарение, неконвективную конденсацию, влажно-конвективное приспособление. При вычислении радиационных потоков учитывается изменяющееся во времени распределение облачности на трех ярусах в зависимости от изменения водяного пара и температуры воздуха.

Температура поверхности Земли над континентами определяется граничным условием, выражающим накопление тепла в почве (т. е. потоки солнечной и длинновол-

новой радиации и турбулентные потоки явного и скрытого тепла локально в сумме равны нулю). Для вычисления нисходящего потока солнечной радиации альbedo поверхности Земли задается как функция широты над океаном и как функция широты и долготы над континентами; в местах, где в результате расчетов воспроизводится снежный покров или морской лед, альbedo заменяется более высокими значениями. Скорость изменения увлажненности континентов и толщина снежного покрова определяются бюджетом воды, снега и тепла на поверхности суши.

В модели океана скорость течений, температура и соленость вычисляются в каждом узле через 300 км и через 200 м по вертикали; плотность воды вычисляется из уравнения состояния. Океаническая модель включает расчет скорости и движения пакового льда в полярных широтах.

Такие модели описывают с большой точностью и со многими важными деталями квазистационарные термодинамические процессы, сезонные и региональные климаты. Однако они все-таки еще не описывают сложных нестационарных процессов, т. е. короткопериодных флуктуаций климата, на которые мы обратили внимание в начале статьи. Более того, задача моделирования цикла индекса пока еще тоже не решена.

Сложные модели климата сейчас широко применяют теоретики для проверки некоторых гипотез в изучении физических климатообразующих процессов. Имеются случаи, когда с помощью модели климата «открывали» новые явления, которые позже обнаруживали в природе.

Сложные модели климата сейчас применяют также для исследования вопроса о возможных внешних воздействиях на климат.

Согласно имеющимся расчетам, увеличение содержания углекислого газа в воздухе может привести к повышению температуры в атмосфере и особенно сильно в полярных широтах. Следовательно, может уменьшиться температурный градиент «полюс—экватор». Поэтому делают вывод, что может уменьшиться волновой теплообмен в атмосфере между северными и южными широтами и возможны будут длительные засухи, длительные похолодания в некоторых регионах.

Детальное рассмотрение этой проблемы в рамках гидродинамических моделей климата показывает, однако, что возможны решения, при которых внешние воз-

действия, в том числе увеличение содержания CO_2 , сначала должны изменить структуру современного климата, но не температурный режим. В этом смысле можно говорить о существовании некоторого «резерва» устойчивости современного климата в целом, в планетарном масштабе, потеря которого могла бы привести к опасным необратимым изменениям климата.

А температурный режим нашей планеты, еще со времен, когда не было жизни на Земле, имеет такие пределы, что вода может находиться в атмосфере и на ее нижней границе одновременно во всех трех формах — парообразной, жидкой и твердой. Возможность переходов между этими термодинамическими фазами воды добавляет системе атмосфера—континенты—океан—криосфера такой элемент сложности, который не только сильно влияет на природу климата Земли, но и на моды его естественной изменчивости, но и на устойчивость климата к внешним воздействиям.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Федоров Е. К. ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И СТРАТЕГИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА.— Метеорология и гидрология, 1979, № 7, с. 12—24.

Марчук Г. И. МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА И ПРОБЛЕМА ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ПОГОДЫ.— Метеорология и гидрология, 1979, № 7, с. 25—36.

Smagorinsky J. GLOBAL ATMOSPHERIC MODELING AND NUMERICAL SIMULATION OF CLIMATE.— In: Weather and climate modification, Ed. Hess W. H., Wiley, N.-Y., 1974, p. 633—686.

ОТТО ЮЛЬЕВИЧ ШМИДТ

К 90-летию со дня рождения

Академик Отто Юльевич Шмидт, вице-президент АН СССР с 1939 по 1942 г., был одним из самых разносторонних людей нашего времени. Специалист в области математики, астрономии, геофизики и общественный деятель, член коллегий народных комиссариатов просвещения, продовольствия и финансов; альпинист, участвовавший в восхождениях на Памир и Альпы, и исследователь Арктики; руководитель экспедиций на «Седове», «Челюскине», организатор первой дрейфующей станции «Северный полюс»; командор перелетов Москва—Токио и Москва—Пекин и университетский профессор; блестящий лектор-популяризатор, заведующий Госиздатом, один из основателей и главный редактор Большой Советской энциклопедии [1924—1941] и т. д.

В последние годы жизни О. Ю. Шмидт был главным редактором журнала «Природа» [1951—1956]. Естественно, что журнал не раз обращался к личности О. Ю. Шмидта (см., например,

Дуэль И. И. Феномен Шмидта.— Природа, 1977, № 5, с. 100). Мы предлагаем читателям подборку, рассказывающую в основном об общественно-политической, научной и редакторской деятельности О. Ю. Шмидта. Подборку открывает стенограмма речи О. Ю. Шмидта, в которой он рассказывает о своей жизни. Речь была произнесена на собрании партийной ячейки издательства «Советская энциклопедия» в 1934 г. Она публикуется впервые (с сокращениями), оригинал хранится в Институте физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР. Воспоминания академика П. С. Александрова, заново переработанные им, были написаны в 1957 г. в годовщину смерти О. Ю. Шмидта. В большей своей части они также публикуются впервые. Подборку включает статья Л. С. Абрамова, который с 1952 по 1960 г. был научным редактором «Природы», где вел отдел геологии и географии. Подборка сопровождается публикацией редких фотографий О. Ю. Шмидта.

Автобиография

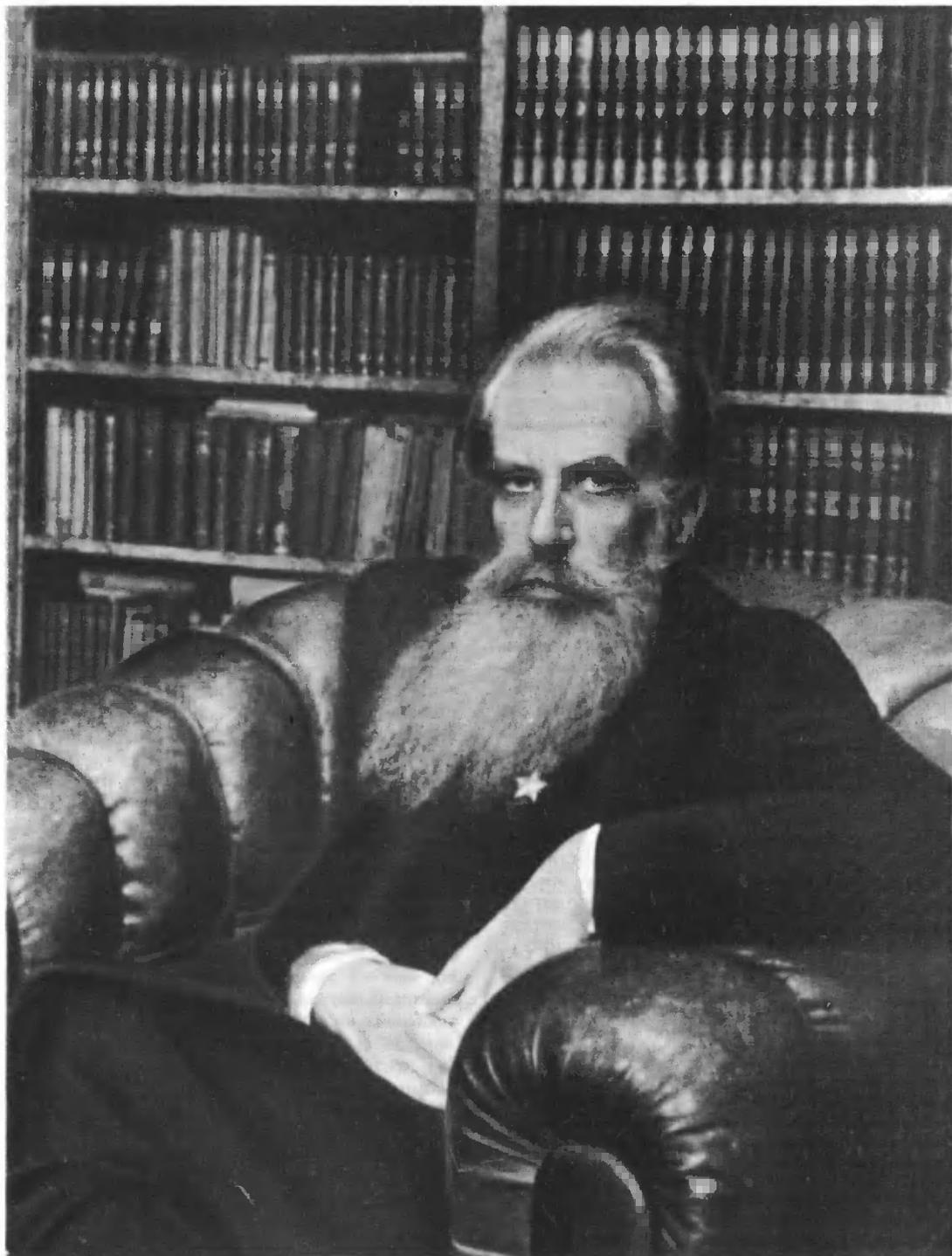
Академик О. Ю. Шмидт

... По положению мои родители принадлежали к мелкой городской буржуазии, по происхождению они из крестьян. Отец мой — из немецких колонистов бывшей Лифляндской губернии. Мать моя — латышка, из крестьян бывшей Курляндской губернии. Я говорю — из крестьян, потому что родители мои сами крестьянским трудом не занимались.

Отец мой служил приказчиком в торговом заведении. Затем открыл собственный писчебумажный магазин в Могилеве, в Белоруссии, где я родился. На этом маленьком деле отец прогорел и снова поступил на службу: продавал контрольные кассы, был страховым агентом, продавал пишущие машинки как агент фирмы и т. д. Потом вторично пытался открыть свой магазин. Это — мечта каждого мелкого буржуа: пусть будет оборот хоть 5 рублей, но все-

таки «свое» дело. Вторично из этого ничего не вышло. Заработок его давал немного. Жизнь была довольно бедная. Но семья, если и не была в полном смысле культурной, во всяком случае стремилась к культуре. Уже в очень раннем возрасте я чувствовал, что родители заботились не только о том, чтобы как можно лучше накормить детей, но и о том, чтобы дать им образование.

Денег на плату за право учения в средней школе не хватало. Я до сих пор с жутью вспоминаю разговор, подслушанный мною поздно вечером; когда собрался большой семейный совет — приехали оба дедушки и дядья. Мне — восьмилетнему мальчику, пора было спать, но я не спал и слушал разговоры старших. Это все были «положительные» немцы и латыши. Один из них говорил: «Самое лучшее на свете — это ремесло». И на немецком и на



ОТТО ЮЛЬЕВИЧ ШМИДТ.
18 [30]. IX 1891—7. IX 1956.

Фото 1952 г.

русском языке есть много пословиц, касающихся ремесла, например: «Ремесло не коромысло, плечи не ломит, а само прокормит». Что-то в этом роде тогда сказал дядя. Один из моих родственников предлагал обучить меня портняжному ремеслу, другой — сапожному. Но тут вмешался дедушка — отец моей матери и сказал: «Все мы люди небогатые, но если сложимся вместе, то одному из детей мы сможем дать образование. И нужно дать образование этому мальчику, он способный». Судьба моя была решена.

Я прошел обычное официальное образование: окончил классическую гимназию, окончил университет, затем прошел то, что теперь называется аспирантурой, а тогда называлось должностью профессорского стипендиата. Затем я сдал экзамен на магистра и стал профессором.

Идейная сторона моей жизни в семье была в одном отношении лучше, чем обычно бывает в мелкобуржуазных семьях, а именно: в нашей семье не замечалось любостяжания. Психология семьи скорее была бедняцкой, и мне впоследствии не приходилось изживать буржуазных вкусов и привычек, ибо их в семье просто не было. . .

Мой отец чрезвычайно увлекался религией и в промежутках своей деятельности приказчика магазина, торгового агента и т. д. занимался религиозными проповедями среди немецкого и латышского населения. Он примыкал к секте, ожидающей близкого наступления второго пришествия Христа и наступления царства божьего на земле. В связи с этим обстановка в семье у нас была мистическая, взвинченная и полдня уходило на молитву. (В России такое положение встречалось редко, а те, кто знакомы с немецкой и английской литературой, должны знать такие настроения.) Хорошая сторона всего этого была в том, что я основательно мог изучать и цитировать Библию и разбираться в богословских вопросах. К 15-16 годам я уже мог критически относиться к религии. В юношеском возрасте мне стало ясно, что скрывается за всеми этими богословскими текстами; переход от религиозности к атеизму у меня совершился сразу.

Наше воспитание можно было назвать идеалистическим в смысле мировоззрения. Люди ставили перед собой какие-то идеалы, а любостяжательства, как я уже сказал, в нашей семье не было. Нам давалась высокоморальное воспитание в смысле

идей, в смысле естественной порядочности и честности. . .

В гимназии я учился в разных городах, но большую часть времени — в Одессе. В гимназии, тринадцатилетним мальчиком, я получил первые резкие впечатления общественной жизни, которые давали толчок к тому, чтобы пересмотреть внутреннее свое содержание. Это был 1905-й год. Для живших тогда в Одессе, даже для детей, это был особенно яркий урок. «Потемкина» я помню, видел его, видел пожар гавани, видел бомбардировку большой лестницы и очищение ее казаками. Все, что есть в фильме¹, мне хорошо известно как очевидцу. Затем дальнейшее развитие событий 1905 г., сравнительно робкие революционные выступления, и, наконец, жесточайший еврейский погром. В тех более бедных кварталах, где мы жили, это было видно особенно ярко.

Я не сразу разобрался во всем происходившем, но во всяком случае, это было мощным толчком к тому, чтобы позднее заставить меня мыслить политически. В 1905 г. мне было 13 лет, а под конец года стало 14. Никакого участия в революционном движении я не принимал, даже в той малой степени, как некоторые мои сверстники, которые оказывали техническую помощь разным комитетам.

Последние гимназические годы я провел в Киеве. И в Киеве же учился в университете с 1909 по 1913 г. Киевский университет был одним из самых реакционных в царской России и мог бы формировать мировоззрение юноши только в консервативном духе, но никакого влияния оказать на уже выросшего юношу в этом смысле не смог. В Киеве, как мне удалось потом узнать, политическая жизнь замерла. Мне неизвестно, существовал ли тогда в Киеве большевистский кружок. О меньшевистских кружках я знал, но меня туда не тянуло, как не тянуло и в кадетскую партию, членами которой состояли некоторые студенты.

Я в это время очень много работал над собой в смысле самообразования. Именно в этот период я впервые читал Маркса, пользуясь доступом в секретную часть университетской библиотеки. Так как я готовился на профессора, меня не очень контролировали, и, таким образом, я имел возможность читать революционную лите-

¹ Имеется в виду фильм С. М. Эйзенштейна «Броненосец Потемкин».

ратуру. Я был математиком по специальности, но очень интересовался философией, историей, много читал и формировался не скажу, что в законченного марксиста, но, во всяком случае, в этом направлении, и сам считал себя марксистом. . .

По окончании университета я был оставлен при нем для подготовки к профессорскому званию. Но как ни малы, как ни ничтожны были мои общественные выступления, меня не хотели оставить при университете, так как я был оштрафован генерал-губернатором на 2 рубля за участие в студенческой сходке. Это считалось достаточным поводом для того, чтобы преградить человеку доступ к профессуре. Но поскольку я учился хорошо, то профессора как-то это дело уладили.

Научная моя подготовка в 1913—1914 гг. совпала с началом войны.

Война сформировала мои взгляды и чувства. Сам я на войну не был призван: как приват-доцент университета я не подлежал призыву, и в царской армии мне быть не пришлось. Но живя в Киеве, я активно работал по эвакуации университета и других ценностей, многое видел и многое пережил. Во время войны я был последовательным интернационалистом — это была моя первая проверка.

В то время развернулась [общественная] деятельность Горького — вы, вероятно, помните его журнал «Летопись», затем журнал «Новая жизнь»² — направление этих журналов оказало на меня определенное влияние.

Война заставила меня продумать и прочувствовать учение Маркса, и с тех пор я мог с несколько большим правом, чем раньше, называть себя марксистом. . .

[Февральская] революция 1917 г. застала меня в Киеве. Я чувствовал, что вести занятия по математике, по меньшей мере, не во-время. Я и до революции, будучи человеком более или менее активным, не ограничивался только математикой: работал в кооперации, в продовольственных органах, а когда продовольственные органы перешли в органы самоуправления, то и в их работе принимал участие.

В 1915 г. у нас в университете создавалась организация, которая называлась «Мо-

лодая академия». Она объединяла профессоров и преподавателей, которые противопоставляли себя правому, реакционному университету. . . В 1917 г. наша группа, связавшись с меньшевистско-эсеровским исполкомом общественных организаций города, пыталась реформировать университет, но из этого ничего не вышло. Меншевики и эсеры испугались наших крайних требований и не захотели убрать ректора-черносотенца и изменить черносотенное преподавание. Они говорили: «Пока правительство не издаст нового закона, мы не вправе сменить старого ректора». Это был очень важный для меня урок. Я увидел, насколько наука и просвещение подчиняются политике, и убедился в том, что никакой прогресс невозможен отдельно в науке и в просвещении без прогресса политического.

Охватить всей совокупности явлений я тогда еще не мог. И вот я перебрался в Петроград для того, чтобы присмотреться к жизни. Формально это было сделать нетрудно. Я был участником продовольственного съезда, избранным нашим Губпродкомом, был участником университетского съезда. Люди в Петрограде были нужны, и я очень легко получил какую-то должность в Министерстве продовольствия. Главное же — ходил по митингам, ориентировался в существующем положении и заводил связи.

Приехал я в Петроград в июле, а в октябре совершилась Октябрьская революция. . . Я помню эти первые октябрьские дни, когда я разговаривал с отдельными большевиками и с другими лицами. Как-то зашел в редакцию «Новой жизни» к Базарову³ — одному из левых меньшевиков. Он мне сказал: «Ленин — человек бесспорно умный, но не может отделаться от одной фантастической мысли — он верит в силу масс». Как известно, Ленин с Базаровым был в теплых отношениях. Базаров мне сказал: «Я говорю Ленину — ведь страна же дикая, некультурная, масса не воспитана, откуда вы кадры возьмете для управления? Старых чиновников, что ли, будете брать?» Ленин будто бы ему ответил, что массы выдвинут людей, массы научатся

² Антивоенный журнал «Летопись» был основан М. Горьким в 1915 г. «Новая жизнь» была не журналом, а ежедневной газетой, выходявшей с 18 апреля 1917 г. по июль 1918 г. Кроме М. Горького ее редактировали Серебров, В. Строев.

³ В. А. Базаров (1874—1939) — русский философ и экономист, примыкал к большевикам в 1904—1907 гг. Вместе с И. И. Скворцовым-Степановым перевел «Капитал» К. Маркса. В 1917—1919 гг. занимал меньшевистскую позицию; с 1921 г. работал в плановых органах.

управлять и очень скоро. Базарову это казалось странным, а на меня это произвело совершенно обратное впечатление: я не знал масс, но как-то чувствовалась большая правда в ленинских словах.

В это время все министерства бастовали, саботировали. . . Министерство продовольствия не бастовало и продолжало выполнять техническую работу. Это было необходимо, потому что иначе произошла бы путаница со снабжением всех городов. Правда, через несколько месяцев и это министерство забастовало, но хорошо было и то, что забастовку удалось оттянуть. Затем Министерство продовольствия перешло в Комиссариат продовольствия. . .

Наркомом продовольствия ЦК назначил т. Цюрупу⁴. В конце января 1918 г.⁵ правительство переехало в Москву; вместе с наркомом продовольствия сюда приехали его ближайшие сотрудники. . . Мне оказали доверие, и я. . . был назначен членом коллегии Наркомпрода. Вместе с другими товарищами мы проводили боевую работу продовольственной диктатуры в период гражданской войны. . .

В то время я. . . т. Лозовский⁶, пред-

седатель Профинтерна, т. Лядов⁷, погибший на фронте гражданской войны, и другие товарищи образовали группу социал-демократов — интернационалистов. . . Руководил этой группой т. Лозовский.

В мае 1918 г. на очередном съезде в этой небольшой партии произошел раскол, и образовалась группа левых интернационалистов, куда вошел и я. . . Эта левая группа приняла программу РКП. . . Мы были приняты в Коммунистическую партию, и. . . нам зачли весь стаж пребывания в партии левых интернационалистов. Таким образом, стаж у меня исчисляется с марта 1918 г. . . , а партбилет я получил в декабре 1919 г.⁸. . .

Дальнейшая моя работа — это советская работа в Москве.

На моей обязанности в Наркомпроде, кроме ряда других отраслей, лежало формирование продорганов, отрядов и посылка их на юг, а также органов, которые немедленно развертывали свою работу, как только Красная армия освобождала тот или иной район. Во время кулацкого восстания многие товарищи, которых мне пришлось отправить с отрядами, были там убиты. Мне там поработать не пришлось.

С 1920 г. я был членом коллегии Наркомпроса. Мне было поручено создание органа, руководящего высшего технического образованием; впоследствии он был назван Главпрофобром⁹. . . Лозунг: «Политехническая школа» тогда истолковывался Наркомпросом неверно, а именно, [он истолковывался] как школа, которая должна обучать только технике вообще, а не чему-то конкретному. Так, например, считалось, что нельзя обучать арифметике, а надо ставить общетехнические вопросы и на их почве изучать арифметику, географию и т. д. Неумение Наркомпроса правильно воплотить лозунг программы я спутал с неправильностью этого пункта программы и выступил против политехнической школы на том этапе, т. е. выступил за то, чтобы создать сначала узкотехническую школу, а затем развивать ее в политехническую. Это была постановка вопроса шиворот-

⁴ А. Д. Цюрупа (1870—1928) — советский государственный и партийный деятель, член Коммунистической партии с 1898 г. 28 ноября 1917 г. Цюрупа был назначен заместителем наркома продовольствия. Постановление Совнаркома об этом назначении подписывает В. И. Ленин (см. Ленин В. И. Биографическая хроника, т. 5, с. 69—71). С февраля 1918 г. Цюрупа — нарком продовольствия РСФСР. В годы гражданской войны ведал снабжением Красной армии, руководил деятельностью Продармии. В 1923—1925 гг. — председатель Госплана СССР, затем нарком внешней и внутренней торговли СССР.

⁵ Советское правительство переехало из Петрограда в Москву 11 марта 1918 г. (Ленин В. И. Биографическая хроника, т. 5, с. 308).

⁶ А. Лозовский (С. А. Дридзе) (1878—1952) — советский государственный и партийный деятель, доктор исторических наук. Член КПСС с 1901 г. На 3 Всероссийской конференции профсоюзов (июль 1917) избран секретарем ВЦСПС. В 1918—1921 гг. возглавлял группу социал-демократов интернационалистов, в составе которой в декабре 1919 г. был принят в РКП(б); в 1918—1921 гг. — ответственный секретарь профсоюза текстильщиков, затем железнодорожников, председатель МГСПС. В 1921—1937 гг. — Генеральный секретарь Профинтерна, а в 1937—1939 гг. — директор Гослитиздата, в 1939—1946 гг. — заместитель министра иностранных дел СССР, в 1941—1948 гг. — заместитель начальника, затем начальник Совинформбюро. В 1940—1949 гг. руководил кафедрой истории международных отношений и внешней политики СССР в Высшей партшколе при ЦК ВКП(б).

⁷ Речь идет, видимо, о Г. Лийдове (Г. Д. Лейтейзене), члене РСДРП (интернационалистов), а не об М. Н. Лядове.

⁸ Подробно об этом см.: Совокин А. М., — Вопросы истории КПСС, 1967, № 1.

⁹ Организация Главпрофобра занимались многие лица. О. Ю. Шмидт был одним из них. В 1920—1921 гг. он был заместителем председателя и только с конца 1921 г. — председателем Главпрофобра.

навыворот, и за это я был снят с работы в Наркомпросе... Был передвинут в Наркомфин. Работал членом коллегии Наркомфина...

Затем я был назначен... заведующим Государственным издательством, нынешним ОГИЗ'ом. ОГИЗ этот как учреждение пришлось создавать [заново]. Это издательство существовало и раньше, но в условиях военного коммунизма, при отсутствии платности, при даровой бумаге... В период работы в нем (а она продолжалась три с половиной года) я неоднократно беседовал с т. Лениным об основах этого дела... Работая в Госиздате, я представил проект издания Большой Советской Энциклопедии. Вначале в этом проекте принимали участие... товарищи Мещеряков¹⁰ и Кузьминский... ЦК одобрил мой проект и поручил мне руководить БСЭ, что я и выполняю, насколько могу, до сих пор.

¹⁰ Н. Л. Мещеряков (1865—1942) — участник революционного движения в России, член Коммунистической партии с 1901 г., член-корреспондент АН СССР (1939). В 1917 г. был членом редколлегии «Известий Московского губернского совета», а в 1918—1924 гг. — членом редколлегии «Правды», одновременно был членом правления Центросоюза, затем председателем редколлегии, заведующим Госиздатом. С 1924 г. — заместитель главного редактора Большой Советской энциклопедии, редактор журнала «Наука и жизнь». В 1929—1931 гг. — член Президиума Кооперативной секции Коминтерна.

В это время я был в счастливом положении: несколько раз в неделю бывал в Совнаркоме, видел Ленина, мог делать доклады, беседовать с членами ЦК... Я... многим обязан т. Цюрупе, которого Ленин считал одним из лучших хозяйственных партийных работников. Мне очень много дало общение с целым рядом старых большевиков, например с т. Покровским и т. Мещеряковым...

Моя работа на Севере, которой я начал заниматься с 1929 г., хорошо известна, и о ней, пожалуй, особенно подробно говорить нет нужды. Работа эта начата мною — и до меня на Севере работали. Мне же удалось поставить ее с несколько большим размахом... ЦК поддержал мою инициативу, развил ее и поднял весь этот вопрос на большую высоту. Предложения, которые я вносил, и те результаты, которых мы достигали, в виде отдельных крупных походов и исследований на Севере, ЦК сразу фиксировал и немедленно давал зарядку для еще большего расширения этой работы.

Когда была поставлена первая крупная задача — идея сквозного плавания по великому северному пути, я встретил недоверие в очень широких кругах и даже в официальных органах, например, в Наркомводе. Нужно сказать, что многие специалисты, капитаны и т. д. считали такой поход невозможным, и только вмешательство ЦК... обеспечило его выполнение. Также было и на всех дальнейших этапах...

Воспоминания об О. Ю. Шмидте

Академик П. С. Александров

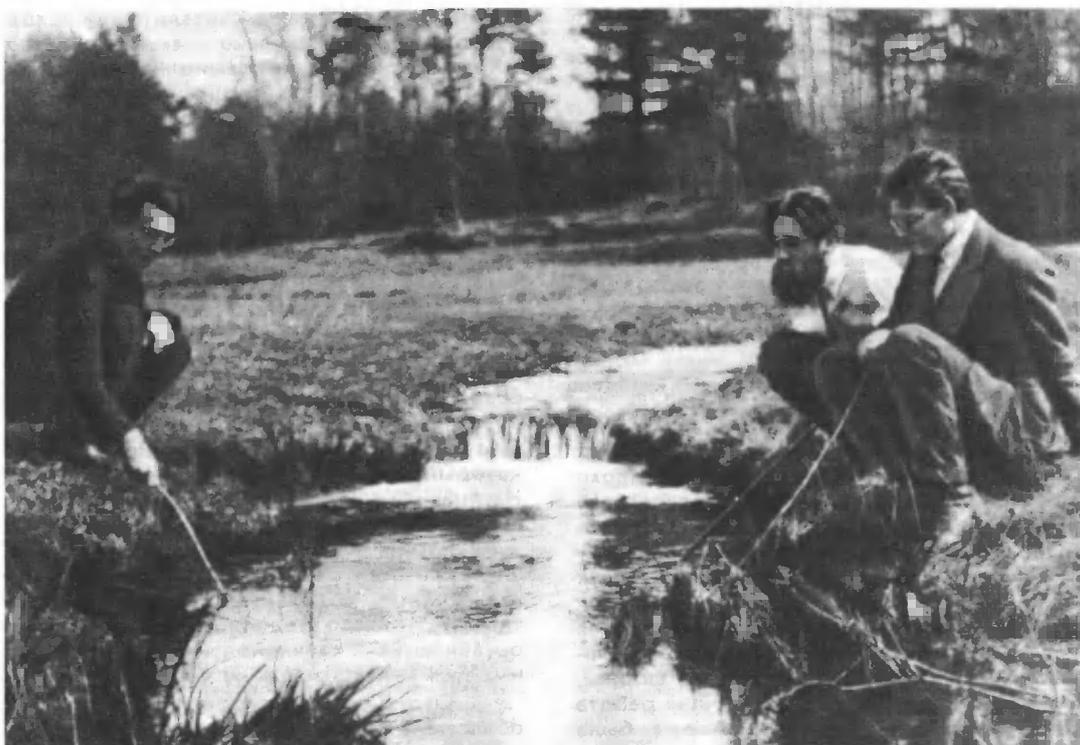
Москва

Моя первая встреча с Отто Юльевичем Шмидтом произошла в такое же холодное, осеннее время, как сейчас, в конце ноября 1920 г. в одной из плохо топившихся тогда аудиторий Московского университета на Моховой. Это было на собрании, посвященном организации Московского института математических наук (МИМН).

Если не ошибаюсь, это была первая попытка создания научно-исследовательского института, той основной формы, в которой проходит сейчас научная работа в нашей стране. Тогда эта форма была

совершенно нова. Академия наук в то время была не тем, что она есть сейчас. Она находилась тогда в Ленинграде, который еще назывался Петроградом. Научная жизнь сосредоточивалась в университетах и естественно дробилась по отдельным научным кафедрам. В Московском университете тоже были отдельные крупные ученые, отдельные научные коллективы, но ничего подобного той массовой организации научной жизни, которая имеется сейчас, тогда не было.

Отто Юльевич, как и во многих других областях культурной жизни, и здесь был





О. Ю. Шмидт со своим учителем Д. А. Граве. 1926 г.

Физик Т. К. Молодой, О. Ю. Шмидт, геофизик А. Г. Калашников (слева направо) на ловле угрей в Узком под Москвой. 1926 г.

О. Ю. Шмидт и Г. А. Ушаков на крыше небоскреба в Нью-Йорке. 1934 г.

О. Ю. Шмидта вытаскивают из двадцатиметровой трещины. Экспедиция на «Седове». 1930 г.



пионером и инициатором. Именно в математике — в то время основной и единственной области его научной активности — он проявил эту инициативу и выступил с планом организации математического института. Естественно, что в то время, когда Советская республика существовала еще только три года, когда далеко еще не было преодолено сопротивление в значительных кругах старой интеллигенции советским идеям, его доклад был встречен с недоверием. А он был тогда совсем молод, ему было 29 лет.

Помню горячие прения. Помню, как непередаваемым обаянием своей личности, которое было присуще Отто Юльевичу, силой и ясностью ума, той готовностью и умением понимать самые различные точки зрения и умением неверные точки зрения преодолевать не криком, не стуканием кулаком, а убеждением и тонкой, внутренней интеллигентностью, Отто Юльевич возбудил к себе симпатии среди самых консервативно настроенных московских математиков. И все поняли, что появился большой и талантливый человек. Математикам было известно, что этот человек работает в специальной области математики — теории групп, которая не занимала тогда нынешнего положения в математике, в области, которой в Москве никто не занимался. Эти работы большого интереса аудитории не возбуждали. Но известно было и другое: человек этот занимает много административных постов в самых различных областях строительства. Вопрос стоял так: зачем этот человек пришел в университет: заниматься наукой или администрацией, ломать все сложившиеся традиции и наводить пока не известный порядок? Вот какие настроения среди старой профессуры, иногда консервативной, иногда реакционной, вызвало первое появление Отто Юльевича.

Потом пошли доклады Отто Юльевича в Математическом обществе. Сначала экстравагантные, затем серьезные, академические доклады непосредственно по специальности, по теории групп, где он был большим специалистом.

В конце концов случилось так, что идеи Отто Юльевича о создании математического и других научных институтов при Университете восторжествовали. Эти институты скоро были созданы, и все поняли, что это и есть новая форма научной жизни, которой принадлежит будущее.

Я был совсем молодым человеком — разница между мною и Отто Юльевичем —

5 лет. Ему было 29 лет, мне 24 года, я в ту пору только начал доцентскую деятельность в университете. Но Отто Юльевич скоро всех нас привлек к себе и сделался желанным и постоянным членом нашего преподавательского коллектива, начиная от самых молодых и кончая маститыми, почтенными учеными, как прекрасный человек и серьезный, большой математик.

В 1926 г. я встретился с Отто Юльевичем в Геттингене. Тогда это была одна из математических столиц мира, крупнейший научный центр Германии, в котором работали К. Гаусс, Б. Риман, П. Дирихле, Ф. Клейн, а в те годы, о которых идет речь, Д. Гильберт — величайший математик последних десятилетий XIX в. и первой половины XX в.

В этот мировой научный центр во время летнего семестра стекались ученые со всех концов земного шара: считалось большой честью сделать доклад в обществе первокурсных ученых.

Отто Юльевич приехал туда в научную командировку.

В Геттингене мы с Отто Юльевичем встречались в самых разнообразных обстоятельствах — не только на научных заседаниях или лекциях, которые мы все слушали, но и во время прогулок, в гостях, куда нас приглашали геттингенские ученые. Здесь я впервые близко узнал Отто Юльевича.

Даже не хочется говорить такие избитые слова, как поразительный, многогранный, разносторонний.

За мою долгую жизнь мне пришлось встречаться с большим количеством выдающихся людей в различных областях знания. Я знал почти всех больших математиков довольно длительной эпохи, музыкантов, врачей, но впечатления об Отто Юльевиче — уникальны. Мне ни разу не пришлось встретить в своей жизни другого человека, который бы так поражал масштабами своей человеческой личности. В 1926 г. Отто Юльевичу было 36 лет. Он вырвался тогда на два месяца из обстановки крайне напряженной работы и, по собственным его словам, целиком ушел в научную математическую работу. Несколько недель досуга оказалось достаточно, чтобы он не только овладел всем, что было сделано в алгебре к тому времени, но и обогатил эту науку своими собственными результатами. Известно, что математика состоит из нескольких областей, в каждой области имеется несколько фундаментальных вещей, вокруг которых концентрируется дальнейшее исследование. Так вот, «теоре-



Геофизическая группа при Институте географии АН СССР, которая впоследствии стала ядром Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта. Слева направо: П. П. Лазарев, О. Ю. Шмидт, С. С. Ковнер, Н. П. Горбунов, А. А. Григорьев (стоит), В. В. Шулейкин. 1936 г. ¹

ма Шмидта» в теории групп принадлежит к фундаментальным, большим открытиям.

Я помню заседания Математического общества под председательством Гильберта, когда была изложена эта теорема. Гильберт являлся тогда не на все заседания, ему было 64 года, и он берег свое здоровье — начинался последний период его деятельности.

Я помню впечатление, которое произвел этот блестящий не только по содержанию, но и по форме доклад, сделанный на немецком языке. Доклад Отто Юльевича был гвоздем научного сезона там, где люди были избалованы и знали цену хорошим докладам, где в то же лето появилось немало новых теорий.

Выступление О. Ю. Шмидта имело и огромное политическое значение. В центр избранной научной интеллигенции приехал

из Советского Союза крупный общественно-политический деятель и сделал блестящее открытие.

Следующий этап его деятельности — начало 30-х годов, эпоха больших перестроек. Естественно, что крупные реорганизации не всегда проходили гладко. Отто Юльевич среди этого кипения, нарушавшего нормальную жизнь школы, разумно и твердо взял курс на ломку устаревших принципов и в то же время на сохранение всего хорошего и здорового, что было в старых университетских традициях, а порой это была нелегкая задача.

В это время Отто Юльевич стал директором Научно-исследовательского института математики Московского университета и речь шла о сохранении основного математического журнала «Математический сборник». Раздавались голоса, что журнал устарел, что никакой математики, кроме прикладной, которая отвечала бы непосредственным потребностям сегодняшнего дня, не должно быть.

Отто Юльевич решительно воспротивился этому и встал в главе журнала, придав ему характер высокой, серьезной научности, которая сохранилась в журнале и по сей день. О. Ю. Шмидт оставался главным редактором этого журнала до 1948 г.

Огромна роль О. Ю. Шмидта в реорганизации Академии наук, в которую он привлек многочисленные молодые силы. Я вспоминаю Казань 1941—1942 гг., куда была во время войны эвакуирована Академия наук. Организовать эвакуацию было чрезвычайно трудно. Нужно было позаботиться не только об условиях работы сотрудников, но и об устройстве их быта, не заниматься которым было нельзя. Потому помимо лабораторного оборудования он занимался и приобретением кроватей с мягкими сетками. В то время находились такие деятели, которые советовали на время войны отказаться от занятий фундаментальными проблемами, в частности атомной физикой, по причине якобы несвоевременности этих работ, а разрабатывать непосредственно практические — для войны — задачи. Отто Юльевич имел мужество протестовать против таких голосов. Было удручающее собрание, где внесли предложение, чтобы математики, которые занимаются прикладными вещами, получали 800 г хлеба, а те, которые занимаются не прикладными — 600 г. Я занимался не прикладными вещами, и мне советовали перейти в семинар по аэромеханике. «Как же я могу перейти, — удивлялся я, — когда я в этом не понимаю ничего». «Да вас никто и спрашивать не будет! Просто сидите». «Нет, — сказал я, — не пойду, я вышел из того возраста, когда на семинаре можно сидеть и хлопать глазами». Отто Юльевич пригласил нас к себе и разъяснил, что военная обстановка требует того, чтобы мы продолжали разрабатывать проблемные, теоретические вопросы в любой отрасли науки, потому что это себя оправдывает. Это были слова большого человека и большого организатора науки.

После отставки О. Ю. Шмидта с поста вице-президента АН СССР А. И. Иоффе, занявший его место, устроил собрание нашего Отделения и — в знак уважения — оставил незанятым место, которое обычно занимал Отто Юльевич, а сам сел в стороне и председательствовал на этом собрании не с председательского места.

Словом, много тогда проявилось разных сторон человеческой души.

В эти годы Отто Юльевич тяжело болел. Однако он — верный своей натуре — вновь переключился на другую работу и стал заниматься космогонией. Не берусь судить об этой области, это не моя специальность, но уверен, что Отто Юльевич и здесь проявил крупный интеллект.

В самые последние месяцы жизни Отто Юльевича мне, к сожалению, не пришлось его видеть. Видел я его за два года до смерти в больнице, в Сокольниках. Это последнее впечатление сомкнулось с первым — впечатлением о человеке большого ума и интеллекта, потому что интеллект это не только ум, но и способность к творческим озарениям, о человеке большого сердца и большой широты.

Я знаю об Отто Юльевиче, как о полярном исследователе, о его идеях, о его организационном таланте, который проявился в борьбе с ледовой стихией во время челюскинской эпопеи, и невольно думаю — неужели все это касается одного и того же человека? Я никогда не встречал ничего подобного в жизни. Как могло случиться, чтобы в одном человеке сочетались столь различные стороны человеческого характера, нужные для творческой деятельности в столь различных областях: свойства характера, казалось бы, взаимно исключают друг друга, когда человек одновременно думает над тем, как вести ледокол при недостатке топлива, и над абстрактнейшими теоремами?

След, оставленный Отто Юльевичем в советской культуре, значителен именно по масштабности его личности, об этом знают и помнят его товарищи по полярному делу и по научным работам. Хорошо, если бы он не затерялся во времени.

Те же, кому посчастливилось хотя бы часть своего жизненного пути пройти рядом с ним, никогда его не забудут и воспоминание о нем сохраняют в числе самых дорогих своих воспоминаний.

Отто Юльевич Шмидт — редактор «Природы»

Л. С. Абрамов,
кандидат географических наук
Москва

Ряд обстоятельств, в том числе вспышка перенесенного ранее туберкулеза, спровоцированная плевритом и надломившая могучее здоровье Отто Юльевича Шмидта, привел к тому, что он вынужден был отказаться от большинства занимаемых постов — и директора Института физики Земли, и заведующего кафедрой МГУ, и от работы в Большой Советской Энциклопедии. Между тем, деятельный дух О. Ю. Шмидта требовал общения с широкой аудиторией, и он в 1951 г. охотно принял предложение возглавить редколлегия «Природы», переведившейся с 1952 г. из Ленинграда в Москву.

Путь О. Ю. Шмидта к популярному журналу был вполне закономерен. Еще будучи студентом, Отто Юльевич, по свидетельству одного из его друзей Н. Ф. Яницкого, составил список литературы, которую ему необходимо прочесть как будущему ученому и культурному человеку, и попытался прикинуть, сколько же на это потребуются времени. «Я сел подсчитывать, — писал впоследствии Шмидт, — ведь я же был математиком. Оказалось, необходимо 1000 лет, чтобы все намеченное одолеть. . . Тысячу лет прожить нельзя, а все знать невозможно. С болью в душе я стал вычеркивать то, что, хотя и интересно, и нужно, но без чего все же можно обойтись. Оставил только то, без чего не мыслил себе пути в науку. Вновь подсчитал. . . Осталось еще на 250 лет!»¹. Ведь для формирования мировоззрения, для успешной работы в своей области, особенно в науке, считал О. Ю. Шмидт, необходимо опираться на достижения всех наук. Один из путей овладения знаниями — создание энциклопедии, которая является не просто справочником, а целенаправленным трудом, базирующимся на единой методологии. И Отто Юльевич многие годы жизни посвятил созданию Большой Советской Энциклопедии.

Другой путь — популярные доклады и лекционная пропаганда. О. Ю. Шмидт с одинаковым успехом выступал и в Политехническом музее, и в студенческой аудитории, и на льдине легендарного лагеря челюскинцев, и в Английском Королевском географическом обществе, рассказывая о математике, космогонии, путешествиях, основах марксистско-ленинской диалектики.

Наконец, важный путь к знанию — это научно-популярная литература. Особенно журнальная, периодика, которая должна быть ориентирована на различную читательскую аудиторию, должна решать разные задачи. Одна из ее задач — помочь ученым, инженерам, врачам, агрономам следить за достижениями науки в смежных областях. Отто Юльевич не раз ссылаясь в подкрепление этой мысли на президента Академии наук СССР, своего предшественника в «Природе» Сергея Ивановича Вавилова, который говорил, что популярный журнал нужен и ему. Таким журналом для естественнонаучной и технической интеллигенции и представлял себе О. Ю. Шмидт «Природу».

Я не знаю, какую роль играл лично Отто Юльевич в формировании новой редколлегии журнала. Могу лишь свидетельствовать, что он всегда с уважением отзывался о послевоенной «Природе», сам публиковался в ней (его статья «Новая теория происхождения Земли» опубликована в № 7 за 1946 г.).

Я начал работать в редакции «Природы» в 1952 г., после того как вышли 3—4 «московских» номера. 8 лет вел в журнале отдел геологии и географии, работая с Отто Юльевичем в течение 4 лет, вплоть до его смерти. Поэтому мои заметки, возможно, дополнят отнюдь не многочисленную литературу об О. Ю. Шмидте-редакторе. Это не только долг памяти человеку, многому меня научившему: колоссальный опыт его в деле руководства популярным журналом в наши дни, когда все большее число людей интересуется научными достижениями, может быть полезен и интересен многим.

¹ Отто Юльевич Шмидт. Жизнь и деятельность. М.: Изд-во АН СССР. 1959, с. 18

Что в журнале главное — интересное, актуальное, новое содержание, — это прописная истина. Наука обширна и многообразна. В недавнем прошлом первый вице-президент Академии, сам разносторонний ученый, отличавшийся редким даром видеть и поддерживать новое, перспективное, он ясно понимал необходимость строгого отбора самого-самого. . . Интересного? Конечно! Сенсационного? Это бывает в науке не часто, требует осторожности. Прежде всего необходимого, отвечающего задаче журнала: отразить в обобщенном виде развитие современной науки, популяризировать ее достижения. И главный редактор О. Ю. Шмидт стремился привлечь к отбору этого самого-самого и членов редколлегии, и редакционный аппарат, много труда и сил затрачивая на сколачивание единого мнения, на коллективное обсуждение. Все начиналось именно с коллегиального действия.

Мы привыкли к тому, что на титуле наших журналов, особенно академических, значатся представительные редколлегии из маститых ученых. Но на практике часть членов редколлегии лишь «представляет», другая — в лучшем случае рецензирует статьи, совсем редко члены редколлегии представляют списки рекомендованных статей, тем, авторов. А делами журнала вершит главный редактор, его заместители и редакция.

Редколлегия шмидтовской «Природы» тоже сплошь состояла из маститых, к тому же деятельно работавших в науке ученых, представлявших ее ведущие направления. Академики Н. Н. Аничков, А. Е. Арбузов, К. М. Быков, А. П. Виноградов, А. В. Винтер, И. П. Герасимов, Е. Н. Павловский, В. Н. Сукачев, А. М. Терпигорев, Н. В. Цицин, Д. И. Щербаков, члены-корреспонденты АН СССР А. Д. Александров, М. Б. Вул, Л. А. Зенкевич, Х. С. Коштоянц, Н. А. Красильников, Б. В. Некрасов, Н. И. Нуждин, А. И. Шальников, А. В. Шубников, доктора наук И. А. Ефремов, Б. В. Кукаркин, С. Ю. Лукьянов, К. К. Марджаншвили, заместитель главного редактора Д. М. Трошин не только сами составляли перспективные планы по своей специальности и защищали их на редколлегии, но и активно участвовали в обсуждении годовых планов и планов номеров. Поразительно, как О. Ю. Шмидт организовывал эти коллективные действия. Ведь назвать темы и фамилии разрабатывающих их авторов столь представительной редколлегии не так уж трудно. Но из перечней тем и списков авторов журнала не сдела-

ешь. Нужны критерии отбора, популярности и очередности публикаций. Как, кажется, просто было бы Отто Юльевичу с его авторитетом и опытом решать это самому. Но обсуждение разных планов — от перспективного до плана номера — превращалось в подлинно научную дискуссию, в которой генетики спорили с физиками, физиологи — с математиками, лысенковцы — с В. Н. Сукачевым. Это было интересно и поучительно для самих членов редколлегии — представителей разных специальностей, тем более, что дискуссии эти тактично и остроумно вел О. Ю. Шмидт. В итоге не только большинство членов редколлегии действительно активно работало. Даже ленинградцы Е. Н. Павловский и А. Д. Александров и казанец А. Е. Арбузов приурочивали свои командировки в Москву к первой неделе месяца, потому что в первую неделю месяца в здании Президиума АН СССР, чаще всего в кабинете вице-президента тех лет В. П. Волгина, проходила редколлегия «Природы». И ничего нет удивительного в том, что «Природа» поддерживала и даже способствовала развитию (авторитет редколлегии был очень высок) новых направлений в физике и геохимии, в биологии и астрономии, в геологии и географии, и ни разу не споткнулась на пропаганде сомнительных теорий или прожектерства, была корректна в оценке дискуссий, культивировавшихся в те времена во многих областях знаний. С коллегиальными действиями был связан и столь важный для популярного журнала широкий профиль вопроса выбора уровня популяризации. Он тесно связан с задачами, которые ставит перед собой редколлегия, и в конечном счете определяет читательскую аудиторию. О. Ю. Шмидт считал, что «Природа» не должна равняться на «почитывающего читателя». Договорились о том, что все материалы журнала должны быть доступны для понимания читателя интеллектуального, имеющего общее среднее и специальное образование, обладающего навыком чтения научной литературы. Шутя Отто Юльевич говорил, что «Природа» должна быть доступна «среднему академику». Такой читатель, если ему статья интересна, вполне мог бы заглянуть и в словарь иностранных слов, если бы ему встретились два-три незнакомых термина, при таком уровне знаний читатель при желании мог бы прочесть «Природу» от первой строки до последней: материалы по его специальности ему в основном знакомы — они должны привлекать лишь формой подачи, которой можно воспользоваться (при подготовке, например, к устно-

му выступлению). Материалы по другим специальностям должны быть и доступны, и интересны.

К числу читателей «Природы» О. Ю. Шмидт относил и школьных учителей, повышающих уровень знаний по своей специальности. Он считал, что один экземпляр журнала обязательно должен быть в каждой школьной библиотеке. Об этом О. Ю. Шмидт писал министрам просвещения ряда союзных республик.

Но одно дело — установить уровень, другое — его достичь и поддерживать. На каждый материал давали для этого заключение два члена редколлегии — ученый-специалист и ученый-неспециалист, выступающий в данном случае в качестве «среднего академика». Истина рождалась в споре специалиста, отвечающего за научную апробацию, и его оппонента, оценивающего доступность. Но доступность понижения, наряду с актуальностью и новизной (стимулами к чтению), еще не обеспечивает важнейшего требования популяризации: увлекательности изложения, способствующего прочтению статьи до конца. Здесь, кроме знания предмета (непреложный закон «Природы» — авторство из «первых рук») от автора требовалось динамичное развитие сюжета с интересной «постановочной» завязкой, а не упрощение и украшательство. Читателю сразу давалось понять, чем важна эта проблема или вопрос: ему помогали следить за ходом изложения, делали как бы соучастником исследования, эксперимента, путешествия, рассуждения; статья сопровождалась «работающими» на текст иллюстрациями. Отсюда и подход к редактированию. О. Ю. Шмидт многократно говорил, что популярную статью нельзя редактировать так, как материал в газете, где редактор, как правило, вычеркивает непонятное для себя. В популярной статье непонятное следует объяснять, не экономя на этом месте. Можно «отсесть», сократить боковую сюжетную линию, сосредоточить статью на меньшем числе вопросов. И редколлегия, и редакционный аппарат в этих вопросах были единомышленниками главного редактора.

Интересным должен быть не только отдельный материал, но и весь номер в целом. Отто Юльевич считал, что в каждом номере должно быть несколько ударных статей. При разработке проекта номера, при его обсуждении на редколлегии он неизменно спрашивал, что будут читать, за что будут искать этот номер читатели (в таком номере прочтут и другие статьи). Такими ударными материалами он очень

дорожил, порой даже рекомендовал поберечь, рассредоточить их по разным номерам, чтобы в каждой журнальной книжке был свой «гвоздь».

Большое внимание О. Ю. Шмидт рекомендовал уделять популяризации не только предствлений, но и рассказам о получении научного знания. Любил и поощрял статьи об экспедициях, о работе учреждений и лабораторий, о постановке эксперимента или наблюдений, о применяемой при этом новой технике.

Когда Отто Юльевич был здоров и сам вел редколлегию, заседания, как правило, с обширной и интересной повесткой дня превращались в праздник. Обсуждения перспективного плана по какой-либо науке всегда превращались в научную дискуссию. Утверждению плана очередного номера обязательно предшествовало обсуждение только что вышедшего номера, с критическим разбором которого выступал «дежурный» член редколлегии. Разборы были поучительны и для редколлегии, и для редакционного аппарата. Коллективные действия редколлегии не снижали личной ответственности главного редактора, не освобождали его от многих повседневных дел. Расскажу лишь о некоторых. Прежде всего, Отто Юльевич не просто визирировал, утверждал все подготовленные редакцией материалы, но действительно читал все — от первых статей до небольшой заметки. И ставил свои инициалы — О. Ш. — не на первой странице, где обычно «накладывают резолюцию», а на последней, под последней строкой. А если материал был очень хорош, то О. Ш. еще заключалось в кружок. Проект номера комплектовался только из уже готовых, завизированных главным редактором статей.

Читал Отто Юльевич все необычайно внимательно, обнаруживая ошибку, неверную трактовку или редакционную недоработку в материалах по, казалось бы, очень далеком от него специальным вопросам, проявляя не только широчайшую эрудицию, но и необычайную осведомленность. Например, в статье по моему разделу он мог поправить кремний (химический элемент) на кремень (горная порода); уточнить, на сколько метров за последний месяц выдвинулся вязкий лавовый конус из жерла вулкана Мон-Пеле (по данным иностранного журнала), правил ошибки в латинских названиях.

Особенно часто он обращался непосредственно к авторам, рекомендовал что-то уточнить, изложить понятнее, интереснее. Как правило, рекомендации его

были доброжелательными, конструктивными. Для него важно было не просто «снять вопросы», но и убедить автора в необходимости тех или иных исправлений.

Но доброжелательность кончалась там, где автор был некомпетентен или недобросовестен, где проявлялось стремление к рекламе. Здесь Отто Юльевич проявлял принципиальность и непреклонность, невзирая на лица. «Это идет дальше фактов. Ломоносов и без того достаточно велик, чтобы ему что-то еще приписывать. Для «Природы» не подходит», — писал он на статье одного из руководителей Академии. Или о статье руководителей Комитета в помощь великим стройкам: «По моему представлению, обводненная пустыня останется пустыней с водопоями, а не раем земным». И статья не шла в журнал. Отставил он свои взгляды и решения редколлегии и в тех случаях, когда отвергнутые авторы жаловались в высокие инстанции. Все это помогало высоко держать научную марку «Природы», в то время, когда волюнтаристские решения принимались довольно часто. Высокий авторитет О. Ю. Шмидта, его стиль личного обращения, как по телефону, так и (чаще) в письмах, приводили к тому, что его просьбы, как правило, выполнялись: крупнейшие ученые писали в «Природу» не только статьи «первого плана», но и научные сообщения, заметки, рецензии.

Сам О. Ю. Шмидт предъявлял к статьям в «Природе» высокие требования и в бытность главным редактором не опубликовал в ней ни одной своей статьи. Он считал, что его статья должна была стать своего рода эталоном — и по новизне материала, и по форме его подачи. Но такой статьи он так и не написал.

Много внимания Отто Юльевич уделял коллективу редакции. Он был небольшим: два опытных журналиста — ответственный секретарь и заведующий литературной частью, он же редактор общих статей, и пять редакторов, ведущих циклы своих наук — физико-математических, биологических (двое), геолого-географических, химических. Он беседовал с нами и о делах журнала, и о популяризации вообще, и о проблемах науки. Мне, например, он не раз говорил, что В. И. Вернадский заложил основы многих современных представлений в науках о Земле, что в географии отдельные стороны его учения подхвачены Б. Л. Личковым, Б. Б. Полюновым и А. А. Григорьевым, но что его наследие еще не освоено нашей наукой (следует отме-

тить, что «Природа» многое сделала для того, чтобы имя В. И. Вернадского, одно время сльвишего идеалистом, вновь появилось на страницах изданий в нашей стране). Мечтал О. Ю. Шмидт о хорошей экологической статье.

О. Ю. Шмидт был полон оптимизма, шутил, что живет в едином ритме с медицинкой наукой: перестал ему помогать стрептомицин — ученые придумали паск; потом выдумают что-нибудь еще. Но здоровье Отто Юльевича продолжало ухудшаться. Он вынужден был прекратить чтение лекций в МГУ. Все реже и реже приезжал в тесные комнатки «Природы» во флигеле одного из институтов Академии на Пятницкой, все чаще пропускал заседания редколлегии.

Болезнь на долгие годы приковала Отто Юльевича к постели. И сотрудники редакции обычно по одному, по вызову, приезжали к нему на квартиру на улице Грановского или на дачу в Мозжинку. О. Ю. Шмидт полулежал на широкой кровати в очень светлой небольшой комнате. Под спиной подушки. Рабочий стол заменила длинная гладильная доска, опиравшаяся на спинки двух массивных стульев, стоявших по бокам кровати. Прямо на одеяле разложены — рассортированы — статьи. Здесь же стопка писем — он продолжал вести обширную переписку. И глубоко больной человек с седой, уже поредевшей бородой и умными живыми глазами продолжал, как и подобает гостеприимному хозяину, непринужденно вести разговор, давать указания, советовать. Как, очевидно, ему было все это физически тяжело. Но твердый дух, гордый ум и горячее сердце рвались к делу, к людям. И средством общения с людьми для Отто Юльевича до последних дней была «Природа».

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Шмидт О. Ю. АБСТРАКТНАЯ ТЕОРИЯ ГРУПП. М.— Л.: Гос. техн.-теорет. изд-во, 1933.

Шмидт О. Ю. Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1959—1960. Неопубликованные письма О.Ю.Шмидта. Минск: Наука и техника, 1976.

Отто Юльевич Шмидт. ЖИЗНЬ И ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ. М.: Изд-во АН СССР, 1959.

Подвигина Е.П., Виноградов Л.К. АКАДЕМИК И ГЕРОЙ. М.: Госполитиздат, 1960.

Дуэль И.И. ЛИНИЯ ЖИЗНИ. М.: Политиздат, 1977.



Под землю, чтобы сберечь Землю

П. Ф. Швецов, А. Ф. Зильберборд



Петр Филимонович Швецов, член-корреспондент АН СССР, заведующий лабораторией освоения подземного пространства Института литосферы АН СССР. Автор работ по геокриологии, гидрогеологии и инженерной геологии. В последние годы занимается проблемой комплексного освоения недр. В «Природе» опубликовал статью «Вечная мерзлота» (1979 г., № 12). Лауреат Государственной премии СССР.



Анатолий Феликсович Зильберборд, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Всесоюзного научно-исследовательского института гидрогеологии и инженерной геологии Министерства геологии СССР. Автор работ по тепловому режиму шахт и устойчивости горных выработок в районах Севера. В настоящее время занимается инженерно-геологическими аспектами проблемы освоения подземного пространства.

Из всего объема нашей планеты для человечества наиболее важна поверхность суши, включающая плодородную пленку земной коры — почву. Но, как это ни странно, потери именно такого жизненного пространства растут из года в год и приближаются к предельно допустимым.

Тревога по этому поводу все чаще звучит в трудах экономистов, социологов, экологов и демографов. Так, сибирский экономист П. Г. Олдак подсчитал¹, что площадь земель, отчуждаемых под различного вида строения в экономически развитых странах удваивается каждые 15 лет, что к 2000 г. под сооружениями будет занято

15% всей суши; что кроме такой цивилизованной «оккупации» существует варварская, приводящая к возникновению искусственных пустынь, которые уже сейчас занимают 9 млн км².

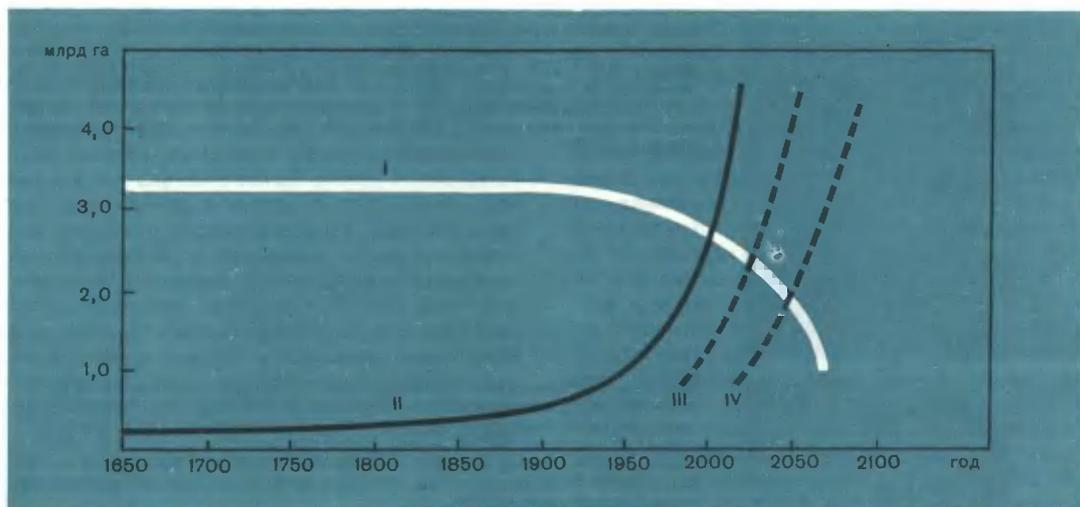
Наиболее реальным путем сохранения поверхности Земли нам представляется активное освоение подземного пространства. Под землю (точнее, в верхний ярус литосферы) можно перенести многие землеемкие отрасли народного хозяйства и тем самым сохранить поверхность Земли с ее неповторимым ландшафтом, почвенным слоем, флорой и фауной. Одновременно это позволит вовлечь в сферу используемых природных ресурсов такие естественные образования, как массивы горных пород.

¹ Олдак П. Г. Современное производство и окружающая среда. Новосибирск: Наука, 1979.

КАК МОЖНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ ПОДЗЕМНОЕ ПРОСТРАНСТВО

Мысль о том, чтобы максимально использовать искусственные и естественные полости в земной коре, не нова. Еще в прошлом веке в Крыму был построен завод шампанских вин «Новый свет», состоящий из неглубоких выработок общей протяженностью около 5 км. Этот завод функционирует и по сей день. В 1888 г. был утвержден проект подземного торгового комплекса на Красной площади

Японии, Италии, странах Скандинавского п-ова. Так, например, в Швеции капиталовложения в подземные сооружения составляют около 10% стоимости всего строительства. Только в 1979 г. там введены в эксплуатацию объекты общим объемом 4,4 млн м³, из которых 60% приходится на хранилища нефтепродуктов и газа. В стране эксплуатируются 40 подземных электростанций общей мощностью 4 ГВт и сооружаются еще 14, которые позволят на 53% увеличить энергетический потенциал страны. Много подземных объектов



Потребности в пахотных землях на перспективу и возможности их удовлетворения (по Д. Мидоузу и др.): I — земли, пригодные для пахоты, II — необходимая площадь пахотных земель при современном уровне их продуктивности, III — при росте продуктивности в 2 раза, IV — при росте продуктивности в 4 раза.

в Москве. В то же время появились крупные подземные винохранилища во Франции. Однако до первой мировой войны подземное строительство носило эпизодический характер и было вызвано главным образом военными соображениями.

После второй мировой войны область использования подземного пространства значительно расширилась. Было выявлено не только оборонное значение подземных промышленных предприятий, но и высокая их экономическая эффективность. Уже к концу 50-х годов крупные подземные сооружения имелись в 30 странах мира. Особенно быстро подземное строительство развивается в странах, испытывающих дефицит участков, удобных для застройки:

и в Норвегии. Достаточно упомянуть, что 85% электроэнергии в этой стране производится на 150 электростанциях, размещенных в горных выработках.

Специалисты в области строительства городов, электростанций, промышленных предприятий и складских объектов, горные инженеры и геологи считают, что в подземных условиях могут успешно функционировать инженерно-транспортные сооружения, гаражи, объекты складского, холодильного и коммунально-бытового хозяйства и даже производственные предприятия. Под землей можно разместить хранилища нефтепродуктов и углеводородных газов, машинные залы электростанций, гидротехнические тоннели, научно-исследовательские лаборатории с термоконстантным режимом, предприятия торговли и общественного питания, спортивные сооружения и их комплексы, хранилища архивов и ценных документов, грибные плантации и пр. Как видим, перечень большой и достаточно многоотраслевой, и тем не менее он из года в год увеличивается. Здесь важно



Горные выработки на севере Тюменской области, пройденные в мерзлых горных породах для хранения мороженой рыбы. Отрицательная температура пород с одновременным проветриванием холодным зимним воздухом позволяет поддерживать в камере достаточно низкую температуру без применения холодильных машин.

Фото Ю. Г. Федосеева.

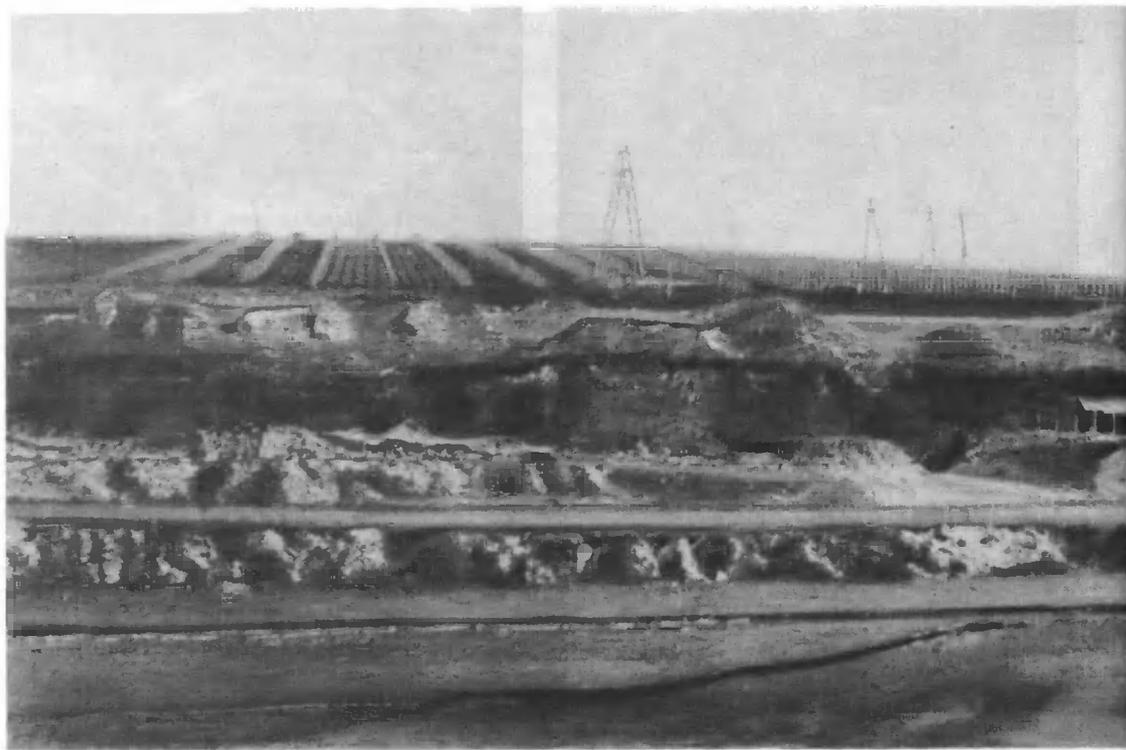


Камера для хранения фруктов (Грузия). Наверху видны воздухоохладители.

Фото В. Я. Янюка.

Винохранилище в отработанном пространстве шахты, в которой разрабатывался пильный известняк (в кровле и стенах видны пропилы, сделанные камнерезной машиной). Таких подземных «проспектов» в Молдавии очень много — более 20 км. Требуемая для вызревания и хранения вина температура и относительная влажность воздуха близки к естественной, поэтому эксплуатация подземных винохранилищ обходится значительно дешевле, чем наземных.





Типичный молдавский пейзаж: на поверхности растет виноград, а у подножия склона заложены штольни и идет добыча известняка. Выработанное пространство используется для винохранилищ, складов и других хозяйственных объектов.

Фото А. Ф. Зильберборда.

отметить, что речь идет не об отдельных уникальных сооружениях, а об объектах массового строительства или, во всяком случае, достаточно широко распространенных.

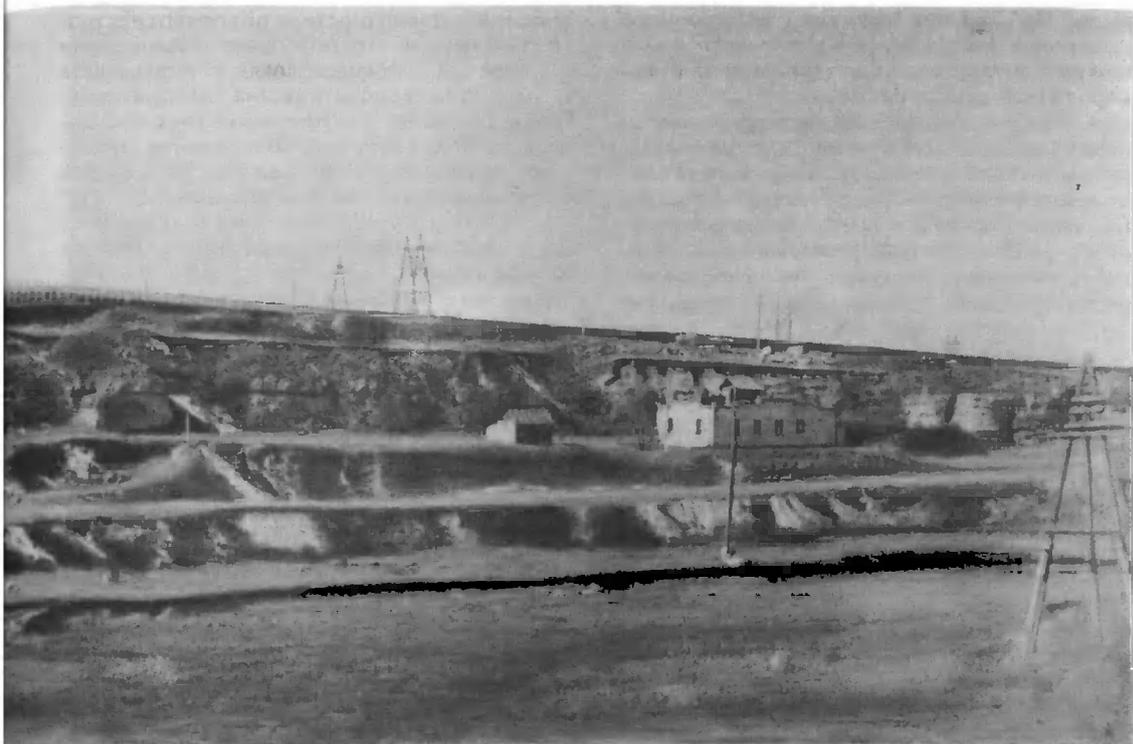
Особенно часто горные выработки используются в качестве складов, что объясняется близкими значениями температуры горных пород на глубине 100—200 м и температурного режима в складских помещениях, регламентируемого технологическими нормами. Да и размеры горных выработок обычно позволяют применять существующую типовую транспортную и погрузочно-разгрузочную технику. В текущем пятилетии только на строительство зерноскладов, холодильников, хранилищ для овощей и кормов, сельско-

хозяйственных удобрений предусматривается выделить 15 млрд руб., что в 1,6 раза больше, чем в прошедшем². Расширение складского строительства вызвано стремлением сохранить продукцию сельского хозяйства на пути от ее производства до потребления. Заметим, что размещение складов и хранилищ под землей даст возможность не только уменьшить занимаемые ими площади, но и получить значительную экономию строительных и изоляционных материалов.

Прирост производства электроэнергии за 1981—1985 гг. в нашей стране, особенно в Европейской части, будет происходить в основном за счет ядерного горючего. В связи с этим возрастет потребность в хранилищах для радиоактивных отходов. В настоящее время многие ученые пришли к единому мнению, что захоронение радиоактивных отходов наиболее рационально в глубоких шахтах при полной изоляции контейнеров. Только в этом случае удается предотвратить неприятности, связанные с радиоактивным заражением местности. Однако при этом следует учитывать постепенный разогрев горных пород и уменьшение их прочности.

Не меньше трудностей вызывает хранение сжиженных газов. При изотерми-

² Тихонов Н. А. Основные направления экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года. Доклад XXVI съезду КПСС 27 февраля 1981 года. М.: Политиздат, 1981.



ческом их хранении требуется поддерживать температуру до минус 150°C . Это приводит к охлаждению значительных объемов горных пород, прочность которых (даже таких, как гранит, песчаник, известняк) при этом увеличивается.

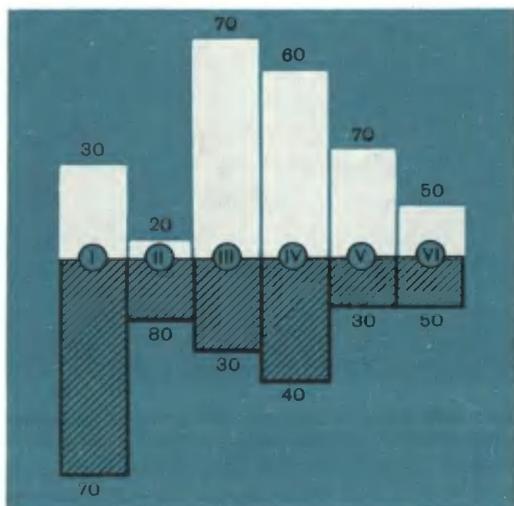
Способность дисперсных пород превращаться при промерзании в монолит используется в районах Крайнего Севера. Там в мерзлых породах сооружают подземные холодильники для хранения мороженых мяса и рыбы. Подземные холодильники дают возможность превратить низкую температуру атмосферного воздуха и «вечную мерзлоту» в союзников человека. В зимние месяцы при интенсивном проветривании горные породы аккумулируют «запас холода» (строго говоря, теряют тепло). Этот запас частично обеспечивает нужды холодильника до следующего сезона.

Подземные сооружения могут создаваться специально для размещения того или иного объекта народного хозяйства. Так и поступают, когда его расположение в пространстве является фиксированным и определяется такими факторами, как трасса дороги для автомобильных и железнодорожных тоннелей, створ плотины для гидротехнических сооружений и т. д. В тех же случаях, когда положение подзем-

ного объекта строго не регламентируется, целесообразно размещать его в выработанном пространстве, образовавшемся в результате извлечения твердых полезных ископаемых. К сожалению, использованы могут быть далеко не все выработки. Они должны удовлетворять определенным требованиям по размерам, устойчивости, удобству сообщения с поверхностью земли. Таким требованиям в значительной степени отвечают выработки, образующиеся при добыче широко распространенного и дешевого минерального сырья. В этом случае можно пойти на некоторое увеличение его потерь во имя сохранения длительной устойчивости массива горных пород. Это позволит эксплуатировать недра не только как источник минерального сырья, но и как среду для подземных сооружений. Поэтому особенно перспективным следует считать разработку некоторых месторождений твердых полезных ископаемых по заданным параметрам с тем, чтобы со временем в выработанном пространстве с максимальными удобствами можно было размещать заводы, фабрики и склады. Для этих целей могут быть рекомендованы также выработки, образующиеся в результате выемки ценного минерального сырья, например, содержащего высокий процент металла в

руде. Применение закладки из прочного материала дает возможность свести к минимуму потери сырья и утилизировать выработанное пространство.

Подземное пространство является также совершенно реальным резервом разрастающихся городов³. Ведь любой современный город — это не только проспекты, парки, музеи, театры, стадионы, эффектные архитектурные ансамбли, но и гаражи, стоянки, фабрики, заводы, коммунально-бытовые предприятия, склады, хо-



Оптимальное соотношение объемов наземного и подземного строительства в крупных городах, в % к общему объему полезной площади: I — гаражи, стоянки, II — склады, III — объекты коммунально-бытового обслуживания, IV — промышленные предприятия, V — административные здания, VI — коммунальные предприятия (по С. И. Кабаковой и А. А. Сегединовой).

лодильники, хранилища. Эти сооружения, без которых немислимо существование большого города, как правило, его не украшают. Особые проблемы стоят перед создателями городов в горных районах страны, где городские территории обычно вытянуты вдоль наиболее плодородных речных долин. С ростом городов возникают сложности с организацией транспортного хозяйства, а большое количество транспортных средств, в свою очередь, вызывает

вибрацию поверхности и приповерхностного слоя грунта, что затрудняет размещение в городах прецизионных производств и научно-исследовательских лабораторий. Специфический микроклимат городов делает крайне сложным обеспечение заданных температуры и влажности воздуха в термостатных помещениях.

Самым разумным решением этих, да и многих других проблем большого города может стать переселение на глубину части городских построек и служб. Но каким образом следует решать вопрос о целесообразности подземного строительства в том или ином конкретном случае? Мерилом тут должна стать экономическая оценка земли.

В нашей стране в целях обоснованного и наиболее рационального использования земельных ресурсов признано целесообразным ввести их экономическую оценку. В «Основах земельного законодательства Союза ССР и союзных республик» записано, что предприятия, которым отводятся для строительства земельные участки, занятые сельскохозяйственными угодьями, возмещают потери сельскохозяйственного производства из расчета экономической эффективности занимаемых земель, а расходы по возмещению потерь включаются в стоимость сооружаемого объекта⁴. К сожалению, единый метод оценки экономической эффективности земель в настоящее время отсутствует, хотя многие ученые предлагают достаточно обоснованные цифры, характеризующие ценность отдельных участков. Так, согласно исследованиям молдавских экономистов⁵, средняя расчетная ценность 1 га земли, изымаемой из сельского хозяйства, составляет 12,5 тыс. руб. Наиболее ценные земли, занятые многолетними культурами, значительно дороже: 62—140 тыс. руб. — 1 га сада; 96—174 тыс. руб. — 1 га виноградника. Заметим здесь, что общая площадь, занятая виноградниками, составляет в Молдавской ССР около 250 тыс. га, а садами — около 180 тыс. га.

Разработаны также методические рекомендации по экономической оценке территории городов. При расчете ценности городских участков учитываются инженерно-экономические и социально-экономи-

³ Заметим, что стоимость земли в крупных городах постоянно повышается, а в ряде случаев вообще достигла астрономических цифр. Например, в Токио 1 га стоит около 150 млн долл., в Нью-Йорке — 400 млн долл.

⁴ Основы земельного законодательства Союза ССР и союзных республик. М.: Юрид. лит., 1969.

⁵ Экономическая эффективность капитальных вложений с учетом денежной оценки земли. Кишинев, 1968.



Природный ландшафт Среднего Поволжья. Под горой на переднем плане размещен крупный холодильник. Наземный холодильник такой же емкости занял бы несколько гектаров поверхности земли.
Фото Ю. Г. Федосеева.

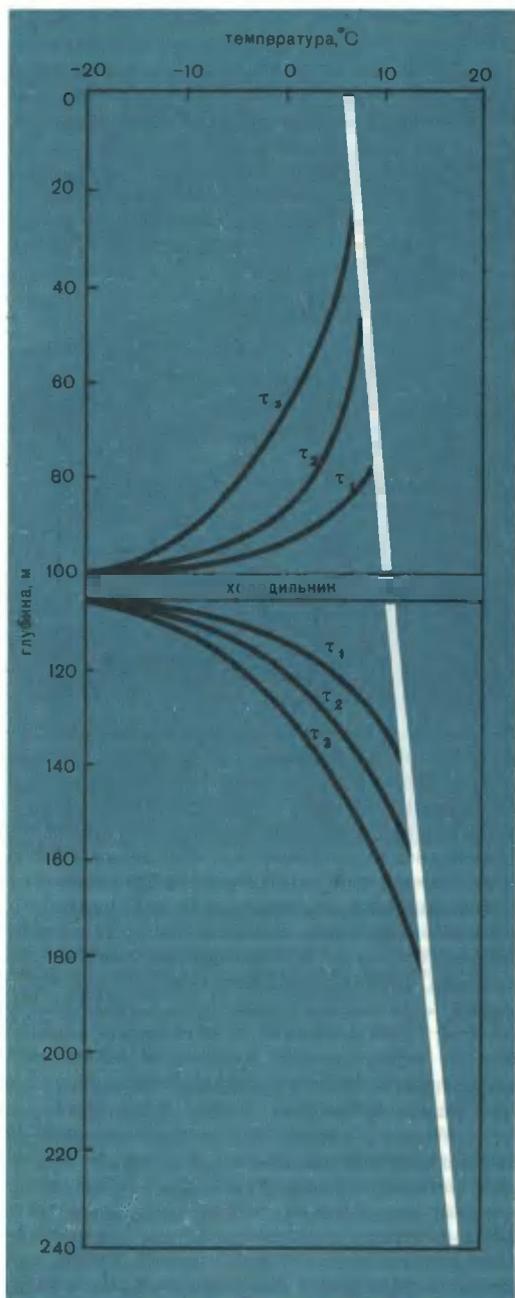
ческие факторы. К инженерно-экономическим относятся затраты на инженерную подготовку территории, инженерное оборудование, дороги и транспорт, а также возмещение затрат при сносе жилых и общественных зданий и при изъятии под застройку сельскохозяйственных земель. Социально-экономические факторы включают функциональные удобства территории для населения, ее санитарно-гигиенические условия. Для крупнейших городов⁶ с численностью населения более 500 тыс. чел. комплексная экономическая оценка изменяется от 204 до 1126 тыс. руб. на 1 га.

Из сказанного ясно, что подземные сооружения целесообразно размещать в районах с ценными сельскохозяйственными

ми землями, в крупных городах и на Крайнем Севере. Однако не только экономия земли привлекает внимание к подземным сооружениям. Они обладают и рядом несомненных технических преимуществ по сравнению с наземными объектами. Это повышенная сейсмостойкость; большая тепловая инерция, облегчающая эксплуатацию термоконстантных помещений; отсутствие вибрации, что особенно важно для оборудования научно-исследовательских лабораторий и размещения прецизионных производств; уменьшение энергетических затрат на обеспечение заданного микроклимата; практически неограниченная нагрузка на пол; большой срок эксплуатации.

Итак, с самых разных точек зрения представляется выгодным перенести с земной поверхности в верхний ярус литосферы некоторые отрасли народного хозяйства. Но прежде чем производить эти перемещения, необходимо четко уяснить себе, как на них отреагирует литосфера. Кроме того, для выбора места, в котором следует поместить тот или иной подземный объект, потребуется исчерпывающая информация о физико-геологических свойствах территории: температуре, прочности, составе пород и т. д. Попробуем разобраться в этих особенностях подземного пространства.

⁶ Кабакова С. И., Сегединов А. А. Методические рекомендации по экономической оценке территорий, отводимых под строительство. М.: Изд-во НИИ экон. стр-т. Госстроя СССР, 1973.



Изменение температурного поля в процессе эксплуатации подземного холодильника. Белая кривая — естественное температурное поле, черные кривые — измененное температурное поле через несколько месяцев после начала эксплуатации холодильника (τ_1), через несколько лет (τ_2), более чем через 10 лет (τ_3).

ПОДЗЕМНОЕ ПРОСТРАНСТВО — ЧАСТЬ ЛИТОСФЕРЫ

Известно, что земной шар состоит из нескольких оболочек. По определению В. И. Вернадского, это «более или менее правильные концентрические слои, охватывающие всю Землю, меняющиеся с глубиной, в вертикальном разрезе планеты и отличающиеся друг от друга характерными для каждой, только ей свойственными, особыми физическими, химическими и биологическими свойствами»⁷. Существуют газообразная, водная и каменная оболочки, которые еще в XIX в. получили неудачные наименования атмосфера, гидросфера и литосфера, хотя сфера — поверхность шара, не может быть оболочкой, т. е. характеризоваться каким-то объемом. Толщина же собственно литосферы (каменной оболочки) в среднем равна 33 км. Из всей этой толщи человек освоил и преобразовал всего несколько сотен метров, и только отдельные шахты достигают глубины в несколько километров.

Основными физическими особенностями литосферного пространства, отличающими его от расположенных выше гидросферного и атмосферного, являются дискретность, гетерогенность, плотность, длительная устойчивость элементов текстуры. Сочетание этих свойств — важнейший показатель широких возможностей использования литосферного пространства не только как источника минеральных и энергетических ресурсов, но и как среды жизни и деятельности человека.

Для характеристики литосферного пространства можно использовать физические, геологические и горно-геометрические поля, совокупность которых охарактеризовал Н. А. Огильви⁸. Примерами геологических полей могут служить поля плотности горных пород, их пористости и прочности, а также различных коэффициентов, определяющих процессы переноса вещества и энергии в горных породах: диффузии, теплопроводности, теплоемкости, температуропроводности, фильтрации и др.

Физические поля находятся в тесном взаимодействии друг с другом и с полями геологическими. Характер как физических, так и геологических полей обусловлен гео-

⁷ Вернадский В. И. Избранные сочинения, т. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1954, с. 61.

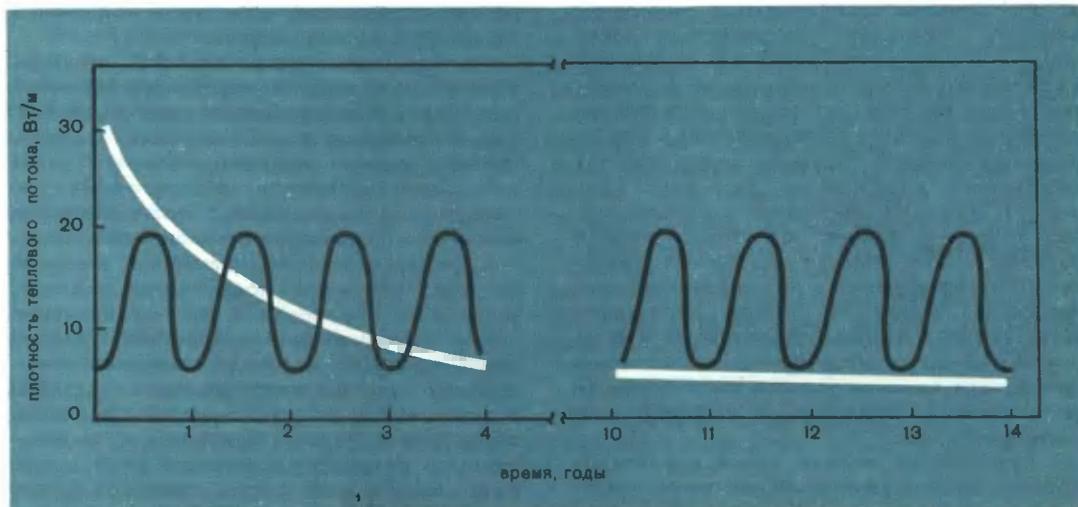
⁸ Огильви Н. А. Физические и геологические поля в гидрогеологии. М.: Наука, 1974.

логической историей отдельных блоков литосферного пространства. И хотя общая закономерность распределения температуры в литосферном пространстве неизменна⁹, температурные градиенты зависят от теплофизических свойств горных пород, соответствующих их составу и структурно-текстурным особенностям.

Информация о естественных полях дает возможность получить исчерпывающие сведения о физико-геологических условиях территории, которые необходимы для выбора места размещения подземно-

полостей значительно изменяет естественные физические и геологические поля. Литосферное пространство преобразуется.

Характер и интенсивность происходящих в нем изменений во многом определяют инженерные мероприятия и технические средства, требующиеся для нормального функционирования подземного сооружения. Чтобы чрезмерно не усложнять задачу, рассмотрим два физических поля, которые, пожалуй, являются основными. Это поля температуры и напряжения. Естественное стационарное температурное поле можно



Изменение плотности теплового потока у поверхности подземного (белая кривая) и наземного (темная) холодильников. Хорошо видно, что энергетические затраты в наземном холодильнике колеблются в зависимости от времени года, а в подземном — значительно снижаются со временем.

го объекта и проведения технико-экономических расчетов, а также для выделения районов с одинаковыми физико-геологическими свойствами (температурой, прочностью, литологическим составом и т. д.).

До появления горных выработок физические и геологические поля имеют стационарный характер. Создание же в литосферном пространстве искусственных

считать подчиняющимся простому закону:

$$T_H = T_0 + (H-h) \text{grad } T,$$

где T_H — температура на глубине H ; T_0 — температура пород у подошвы слоя с годовыми колебаниями температуры, равная приблизительно среднегодовой температуре почвы; h — толщина слоя с годовыми колебаниями температуры; H — расстояние рассматриваемого горизонта от поверхности земли.

Среднегодовая температура почвы и близкая к ней температура горных пород на глубине 15—25 м зависит от следующих основных факторов: баланса тепла и влаги в деятельном слое данного широтного и высотного пояса, положения участка в рельефе и относительно водоема, состава, строения и свойств почвенно-грунтового комплекса. Градиент температуры или его обратная величина, называемая геотермической ступенью, зависят от коэффициента теплопроводности породы λ , так как предполагается, что тепловой поток из недр — величина постоянная:

$$q = \lambda \text{ grad } T = \text{const.}$$

⁹ Исключение составляет самый верхний ярус литосферы — почвенно-грунтовой комплекс, нестационарность и периодическая изменчивость полей температуры и влажности которого связана с периодическими изменениями гидрометеорологических условий на поверхности земли.

Поэтому, чем больше значение λ , тем меньше температурный градиент и больше геотермическая ступень.

Известно, что с глубиной температура горных пород каждые 100 м повышается примерно на 2—4°C. Зная этот температурный градиент, можно так выбрать глубину расположения подземных объектов, чтобы она соответствовала технологическим требованиям производства или хранения. В этом случае нарушение естественного температурного поля будет минимальным. Минимальными будут также и расходы на обеспечение требуемого микроклимата. К сожалению, на практике такая гармония достигается лишь в виноделии и при выращивании шампиньонов. В преобладающем же большинстве случаев температура не является определяющим фактором при выборе глубины расположения подземного сооружения. Большую роль играют физико-технические свойства горных пород и другие факторы. Поэтому появление большинства подземных сооружений и обеспечение в них заданного микроклимата влечет за собой нарушение естественного температурного поля и формирование потоков тепла и влаги, которые приходится компенсировать специальными техническими средствами и инженерными мероприятиями.

Но все же потоки тепла и влаги от подземных сооружений существенно меньше по сравнению с наземными объектами того же назначения. Дело заключается в том, что средой наземных сооружений является воздух, а точнее, атмосферное пространство, отличающееся гомогенностью, малой плотностью и значительной подвижностью. Вследствие этого вокруг наземного сооружения, независимо от его назначения, всегда устанавливается температура, равная температуре атмосферного воздуха. Она может быть выше или ниже требуемой технологическими и санитарными нормами. Поэтому тепловой поток может быть направлен как к сооружению, так и от него, а само помещение должно либо отапливаться, либо охлаждаться. Все это усложняет его эксплуатацию.

Большая плотность горных пород и устойчивость элементов их текстуры обуславливают преобладание кондуктивного теплообмена между подземным сооружением и окружающими породами. Это приводит к образованию вокруг подземного сооружения зоны его термического влияния, которая постепенно увеличивается, «отодвигая» от контура выработки границу пород с естественной температу-

рой и увеличивая тем самым термическое сопротивление среды. Термическая устойчивость сооружения возрастает. Поэтому даже при выходе из строя специальных отопительных или охлаждающих установок в подземных помещениях еще долгое время сохраняется температурный режим, близкий к заданному.

Постепенное уменьшение потока тепла в подземных сооружениях приводит к значительной экономии энергии. Сравнение наземного и подземного холодильников показывает, что потеря «холода» с 1 м² поверхности за сто лет службы подземных объектов в 4 раза меньше.

Нарушение естественного температурного поля вокруг подземного сооружения влияет также и на поле влажности. Возникает явление термодиффузии, выражающееся в том, что направление потока влаги противоположно потоку тепла. Интенсивность проявления термодиффузии во многом связана с полем влагосодержания, которое зависит от глубины, характера пор, удельной поверхности породы, условий ее образования. Важное значение имеет также химический состав поровой влаги, который часто отличается от химического состава окружающей породы. В зависимости от особенностей процессов образования породы (литогенеза) и дальнейшего ее преобразования в ходе диагенеза химический состав поровой влаги претерпевает изменения. При определенных условиях он может приближаться к составу морской воды, т. е. представлять собой сульфатно-хлоридный раствор с преобладанием анионов хлора и катионов натрия.

Таким образом, перенос растворенного вещества может привести к образованию химических соединений, элементы которых не содержатся в породах, окружающих подземное сооружение. Например, в горных выработках известняковых шахт наблюдалось образование мирабилита $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, в то время как химический состав известняка — CaCO_3 . Миграция раствора может повлечь за собой ряд нежелательных явлений. Они связаны как с растворением породы вблизи поверхности выработки, так и с изменением объема при переходе одного вещества в другое. Растворение приводит к увеличению пористости породы, ослаблению связей между твердыми минеральными частицами. Для защиты подземного сооружения от химического разрушения необходимы гидрохимические обоснования.

Техногенное (т. е. искусственное)

изменение температурного поля оказывает непосредственное влияние также на прочность горных пород. Оно особенно велико в тех случаях, когда изменение температуры связано с фазовыми переходами поровой влаги в процессе промерзания — протаивания. Если раньше считалось, что изменение прочности при промерзании касается лишь дисперсных отложений, таких как песок, супесь, глина, то в настоящее время накопленный опыт позволяет утверждать, что это явление распространяется и на такие скальные и близкие к ним породы, как известняк, песчаник, гранит.

Устойчивость подземных сооружений во многом определяется полем напряжений, которое формируется вокруг них в так называемой зоне механического влияния подземной полости. До ее возникновения естественное поле напряжений определяется действием гравитационных и тектонических сил. Если пренебречь последними, то поле нормальных напряжений можно рассчитать по таким простым формулам:

$$\sigma_x = \gamma H; \quad \sigma_x = \sigma_y = \frac{\nu}{1-\nu} \cdot \gamma H,$$

где H — глубина; γ — объемный вес; σ_x — вертикальное напряжение; σ_x, σ_y — горизонтальные напряжения; ν — коэффициент Пуассона.

Следует отметить, что в отдельных случаях тектонические напряжения в десятки раз превосходят гравитационные. Поэтому не всегда поле напряжений определяется с помощью таких простых зависимостей. Появление подземного сооружения сопровождается формированием нового поля напряжений, характер которого значительно сложнее естественного. В общем случае он зависит от глубины заложения подземного сооружения, его формы и размеров, состояния и свойств массива горных пород. Как установлено рядом специальных исследований, в случае упругой модели в кровле выработки (камер) появляются растягивающие напряжения, переходящие в сжимающие; а в промежутках между выработками (в межкамерных целиках) возникают сжимающие напряжения, которые могут быть существенно больше нормальных напряжений. Однако зона механического влияния подземного сооружения сравнительно невелика, и если возникающие напряжения не превышают прочности горных пород, устойчивость сооружения обеспечивается без применения несущей крепи. В противном случае необходимо предусматривать различные конструкции крепей, способные выдерживать соответствующие нагрузки.

Изменение температуры в подземных сооружениях приводит к появлению термомеханических напряжений, которые накладываются на гравитационные. В итоге приходится иметь дело со сложной геомеханической системой, моделирование которой сопряжено с рядом трудностей. И эти трудности нам еще предстоит одолеть.

Подводя итог нашим рассуждениям, заметим, что новый взгляд на возможность использования литосферного пространства в корне меняет отношение к экономической оценке недр. Искусственные и естественные подземные полости следует считать национальным богатством страны, а окружающие их горные породы — самостоятельным видом природных ресурсов. Это нашло отражение в «Основах законодательства Союза ССР и союзных республик о недрах»¹⁰, в которых использование подземного пространства для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых, признано равноправным видом природопользования.

¹⁰ Башмаков Г. С., Каверин А. М., Краснов Н. И. Законодательство о недрах. М.: Юрид. лит., 1976.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Мостков В. М. ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ БОЛЬШОГО СЕЧЕНИЯ. М.: Недра, 1974.

Голубев Г. Е. ПОДЗЕМНАЯ УРБАНИСТИКА. М.: Стройиздат, 1979.

Легgett P. ГОРОДА И ГЕОЛОГИЯ. М.: Мир, 1976.

Сидоренко А. В. ЧЕЛОВЕК, ТЕХНИКА, ЗЕМЛЯ. М.: Недра, 1967.

Зильберборд А. Ф., Горская Г. С., Городецкая М. А. ТЕПЛОВЫЙ РЕЖИМ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ИХ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ. М.: Недра, 1977.

Папернов М. М., Зильберборд А. Ф. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ И СКЛАДСКИЕ ОБЪЕКТЫ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ. М.: Стройиздат, 1980.

Швецов П. Ф. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ И УСЛОВИЯ ОСВОЕНИЯ ЛИТОСФЕРНОГО ПРОСТРАНСТВА. — Инженерная геология, 1981, № 4.



Пестрый скорпион, его образ жизни

О. В. Малинина

Институт зоологии АН КазССР
Алма-Ата

Скорпионы — древнейшие представители не только среди класса паукообразных Arachnida, но даже среди всех наземных членистоногих. Географическое распространение их представляет большой интерес для зоогеографии, так как многие виды и роды скорпионов сохранились в тех местах, где обитали с древнейших времен.

В настоящее время насчитывается около 1500 видов скорпионов, которые обитают в странах с теплым или жарким климатом.

В нашей стране встречается 12 видов скорпионов, из них наиболее широко распространены и многочисленны пестрый скорпион *Buthus eupeus*, который и стал предметом нашего изучения. Этот вид встречается в Закавказье, Средней Азии и Нижнем Поволжье. За пределами СССР пестрый скорпион известен на востоке Турции, частично в Сибири, на большей части Ирака и Ирана, в западных районах Пакистана, всей северной половине Афганистана, в северо-западных областях Китая (Джунгарии), на южных окраинах Монголии.

Несмотря на широкую известность и многочисленность, образ жизни пестрого скорпиона изучен плохо.

Пестрый скорпион населяет почти все типы пустынь. Обитая по сухим руслам рек песчаной пустыни, он прячется в норах грызунов, под упавшими на землю стволами и ветвями саксаула. В солончаковых пустынях, где численность его невелика, скорпион забирается в норки мокриц, под плитки такыров и в основания кустиков полыни. По южным остепненным склонам он проникает

высоко в горы — до 2000 м над уровнем моря.

Типичные жители пустынь, скорпионы явно избегают влажных почв, однако, нуждаясь во влажном воздухе, в засушливые годы мигрируют из излюбленных мест обитания, забираясь в ложбины и ущелья. Здесь, среди сохранившейся растительности, они отыскивают добычу.

Наиболее многочислен пестрый скорпион в каменистой пустыне, где находит удобные и хорошо прогреваемые убежища под камнями. Здесь при необходимости скорпион может вырыть норку, которая служит не только укрытием от палящих солнечных лучей, но и ловушкой для добычи — различных насекомых и пауков, отыскивающих под камнями убежища на день. Там, где мало естественных укрытий, а места богаты пищей, скорпионы используют для своего жилища самые различные предметы, оставленные человеком (связки тростника, обрывки толя и шифера, автопокрышки, доски и т. д.). Поэтому скорпионов часто можно встретить на брошенных зимовках скотоводов, стоянках топографов и геологов.

Пестрый скорпион — теплолюбивое существо. Излюбленная температура его летнего укрытия — 30—35°, однако уже при 45—50° у него наступает тепловой шок, а на открытом солнце он быстро погибает от перегрева. Еще более чувствительны скорпионы к низким температурам: при охлаждении до +3° они теряют подвижность, а при кратковременном охлаждении до минус 5—7° погибают.

Зимний период, длящийся с октября по апрель, скорпионы переносят в неактивном состоянии. Для зимовки они углубляют свои норки или забираются в трещины скал, норы грызунов, а в саксауловых лесах прячутся в щели стволов.

Будучи типичными ночными хищниками, дневное время скорпионы проводят в укры-

тии и только с наступлением темноты выходят на охоту. Медленно продвигаясь с вертикально поднятым «хвостом», скорпион идет наощупь, выставив вперед педипальпы (передняя пара конечностей) с полураскрытыми клешнями. Обнаружив жертву, он мгновенно раскрывает клешни и схватывает ее. Если жертва оказывает сопротивление, скорпион ее жалит, обездвигивая и убивая ядом, и с пойманной добычей прячется в укрытие. Приемы охоты скорпионов отличаются некоторой индивидуальностью. Особо агрессивные экземпляры иногда нападают на крупных фаланг, сколопендр, жуков; случается, что поедают и своих сородичей. Правда, каннибализм чаще всего обусловлен отсутствием пищи.

Охотятся скорпионы отнюдь не вслепую. Они могут обнаружить добычу и ориентироваться на нее на расстоянии 20—50 см, воспринимая возмущение субстрата, создаваемое жертвой при движении или рытье норки. По-видимому, по величине сейсмических волн скорпионы определяют и размеры добычи, и, если животное велико, они отбегают в сторону или прячутся в укрытии.

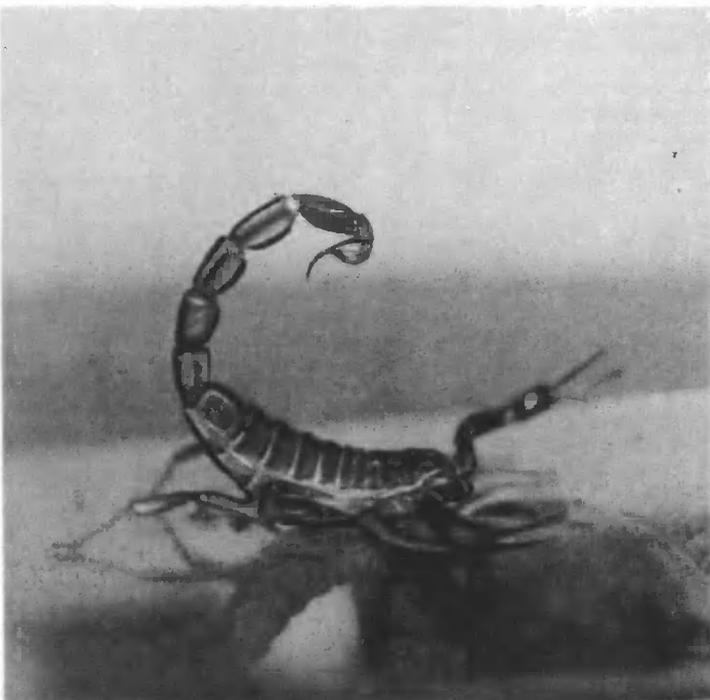
Эти бродячие хищники не гнушаются, однако, и более пассивной охоты. В дневное время голодные скорпионы сидят у выхода из укрытия, чуть высунув наружу переднюю пару конечностей с широко раскрытыми клешнями, которыми хватают пробегающую жертву.

Обычный рацион скорпионов — мокрицы, пауки, многоножки, различные насекомые и их личинки. В местах, где много саранчовых, последние служат для скорпиона основной добычей. Мохнатых гусениц, жуков чернотелок, хищных клопов и недавно погибших насекомых поедают только очень голодные скорпионы. Ядовитых насекомых — нарывников, листогрызцов, божьих коровок, а также давно погибших и загнанных

или высохших насекомых — они не трогают. В целом, богатство их «стола» зависит от разнообразия фауны в местах обитания.

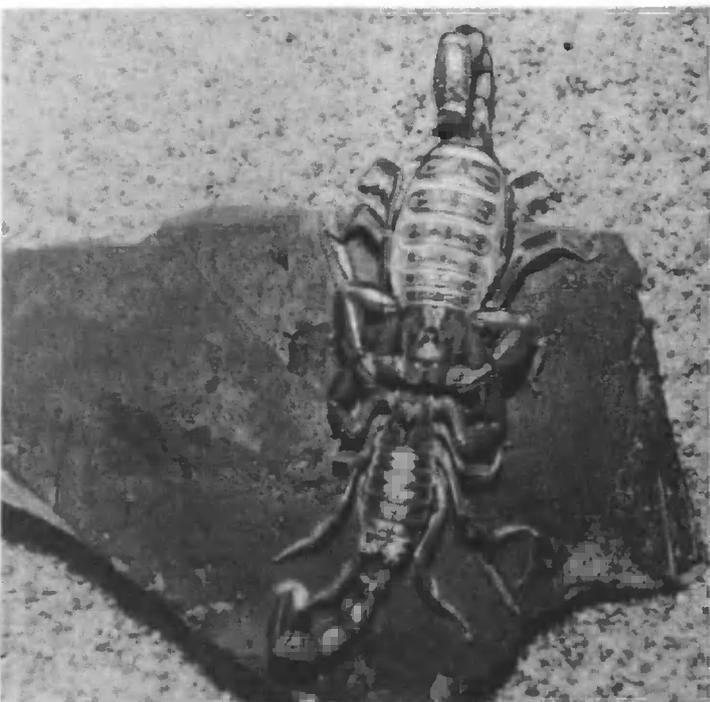
Приспособившись к суровым условиям жизни в пустыне, где часто бескормица из-за засухи, скорпионы долгое время могут обходиться без пищи; у Фабра, например, они голодали около года¹. Пестрый скорпион в садке, хорошо прогреваемом на солнце, выдерживает трехмесячное голодание, а при температуре 20—25° и периодическом увлажнении почвы голодовка может длиться 6—7 месяцев. Такой длительности голодания способствует малая активность скорпионов в условиях, неблагоприятных для жизни.

Биология размножения скорпионов не лишена своеобразия и интереса. Брачный период у них начинается в июле и заканчивается в сентябре. В это время с наступлением темноты скорпионы покидают свои укрытия и отправляются на поиски пары. Самцы более активны в поисках: прикасаясь педипальпами ко всем встречным скорпионам, они узнают самку, коснувшись ее лишь 1—2 раза. Если обнаруженная самка готова к оплодотворению, она вкладывает свои сомкнутые клешни в широко раскрытые клешни самца. Так, сцепившись клешнями, они прогуливаются в течение нескольких часов, а иногда и дней. Пара отыскивает подходящее место (чаще всего — камень), где совершает своеобразный танец, длящийся 15—20 мин и прерывающийся паузами, во время которых животные неподвижно лежат на камне. После окончания ритуального танца происходит спаривание (копуляция, как таковой, нет, оплодотворение внутреннее, сперматофорное), при котором самка захватывает половыми створками верхнюю часть выделенного самцом сперматофора (мешочка, заполненного сперматозоидами). Затем, бывшие только что «нежными супругами», скорпионы становятся агрессивными, отбрасывают друг друга ударами задне-



Пестрый скорпион в позе готовности к нападению и защите.

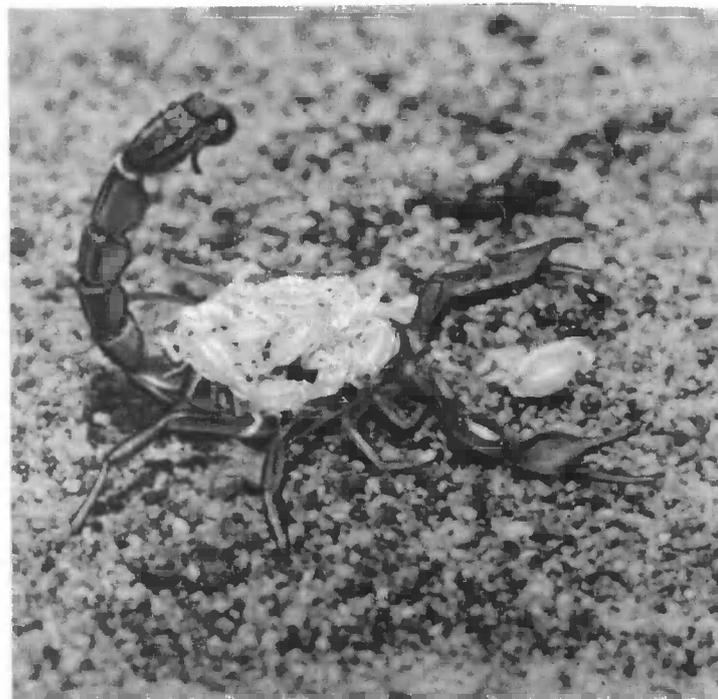
Перед брачным танцем самец соединяет свои клешни с клешнями самки.



¹ Ф а б р Ж. А. Жизнь насекомых. М.: Госиздат, 1923.



Самка пестрого скорпиона во время родов. Самка с новорожденными детенышами.



брюший, разбегаются в разные стороны и прячутся под камнями. Фабр наблюдал, как после оплодотворения самки пожирают самцов, но для пестрого скорпиона каннибализм брачного периода неизвестен.

Потомство появляется почти через год после оплодотворения. Пестрый скорпион относится к яйцеживородящим представителям своего племени, т. е. эмбрионы развиваются в организме матери за счет питательных веществ яйца и рождаются еще в яйцевой оболочке. Рождение детенышей происходит, как правило, ночью. Покрытые яйцевой оболочкой, маленькие скорпионы 7—10 мин лежат неподвижно, затем начинают вяло шевелить конечностями и расправлять их. В результате, подсыхая оболочка лопается и младенцы появляются на свет, а через 20—30 мин взбираются на переднебрюшие матери. Первое время маленькие скорпионы не питаются активно, а живут за счет эмбрионального желтка, оставшегося в кишечнике. На четвертый день жизни они линяют, сбрасывая клочками эмбриональную оболочку — экзвий, который покрывает переднебрюшие самки своеобразным, слегка пористым чехлом, служащим как бы подстилкой для потомства.

Покровы новорожденных не пигментированы, окраска начинает проявляться на шестой день, а через 20—25 дней покровы твердеют и приобретают окраску, свойственную взрослым скорпионам: тело скорпиончиков становится бурожелтым с темными пятнами и продольными полосами на спине. Окраска скорпионов зависит от места обитания: в песчаных пустынях она светло-желтая, в каменистых — буро-желтая, рыжеватая, почти черная.

Число детенышей у пестрого скорпиона, живущего в тепле и достатке, обычно колеблется от 15 до 34, а у голодавших и плохо прогреваемых самок — только 5—10, так как часть эмбрионов рассасывается еще во время беременности. Ослабленных и недоразвитых детенышей самка обычно поедает.

После первой линьки

малыши совершают самостоятельные кратковременные прогулки, однако далеко от матери не отходят и, как правило, вместе с ней прогреваются у входа в норку. В десятидневном возрасте маленькие скорпионы покидают мать и ведут самостоятельный образ жизни.

Сроки рождения и расселения потомства зависят от условий жизни самки.

Продолжительность жизни пестрых скорпионов в естественных условиях точно неизвестна, в неволе же они живут до двух лет и более. Половозрелость наступает через год, за это время скорпионы несколько раз линяют (при достаточном питании и прогреве). Перед линькой спереди и с боков головогрудного щитка образуется разрыв покровов, тело скорпиона становится мягким и сильно вытягивается. Совершая волнообразные движения телом, скорпион медленно выбирается из прежней оболочки через щель, образовавшуюся в покровах. Линька обычно длится 15—18 часов, а если почему-то затягивается (иногда до 2 суток), то скорпион погибает. Сразу же после линьки, несмотря на еще мягкие покровы, скорпион становится подвижным. Если его потревожить, он круто загибает «хвост» и размахивает им из стороны в сторону (характерная поза угрозы).

Период линьки у пестрого скорпиона сильно растянут. В Семиречье, где мы изучали этот вид, скорпионы линяют в основном в июле — августе, хотя небольшое количество личинок можно встретить и в конце весны — начале лета.

Несмотря на твердые покровы и наличие ядовитого аппарата, у пестрых скорпионов немало врагов. Их охотно поедают ушастые ежи и различные рептилии: агамы, сетчатые ящурки, пискливые и серые гекконы. Среди беспозвоночных у скорпионов почти нет врагов. Погибших и высохших скорпионов находят иногда в тенетах каракурта, однако, во время миграций этот паук часто сам становится добычей скорпионов. Фаланги и тарантулы обычно на скорпионов не нападают и даже не оказывают сопротив-

ления, если этот вооруженный захватчик претендует на их собственные жилища.

Каннибализм хоть и известен среди скорпионов, но они поедают своих собратьев только при отсутствии обычной пищи. Скорпионы одного вида в естественной обстановке не нападают друг на друга, но в общих местах обитания пестрый скорпион часто становится добычей своего более крупного казакского сородича.

Злейший враг скорпиона — человек. Недобрая слава о ядовитости скорпионов и о частых их нападениях на человека привела к совершенно неразумному истреблению этих паукообразных. Естественно, если придавить скорпиона или коснуться его, то человеку не избежать удара «хвостом». Укол скорпиона, даже крупного тропического экземплера (до 20 см) обычно для человека не смертелен, хотя вызывает болезненное жжение и отек тканей. Ядовитость разных видов скорпионов различна, а укол пестрого скорпиона (длина его тела не более 4,5 мм), как показали наши исследования, легко переносят даже белые мыши. Внутри вида ядовитость зависит от возраста, пола и времени года. Наиболее ядовит пестрый скорпион осенью и весной, причем самки вдвое более ядовиты, чем самцы, а молодые особи менее ядовиты, чем взрослые.

При содержании в неволе скорпиону необходимо создать немало разнообразных жизненных условий, которые это свободолюбивое существо могло бы выбрать по своему желанию. В неволе скорпионы капризны в отношении пищи: даже их излюбленное блюдо — пауки — при долгом скормливании принимается им. Искусственное жилище должно быть просторным, иначе при тесном содержании скорпионы нападают друг на друга. При достаточном питании скорпионы очень миролюбивы. Скорпийный садок нужно хорошо прогревать, но при этом нельзя забывать о периодическом увлажнении садка и подходящих для укрытия предметах. Без увлажнения почвы в хорошо прогреваемом садке скорпионы погибают, при

хорошем же содержании они даже зимой прекрасно развиваются, не нуждаясь в зимней диапаузе.

Однако, если учесть все «капризы» этих паукообразных, их все же удастся долгое время содержать в неволе. Правда, повадки скорпионов, живущих в садках, искажаются.

Как в природных условиях, так и при содержании в неволе, скорпионы, как и всякие другие живые существа, представляют истинный интерес для наблюдений за их жизнью.

Однако только ли это привлекает к скорпионам внимание исследователей? Такое мнение было бы далеко неправильным. Эти животные, обладающие высокой степенью эндемичности, несомненно, представляют интерес для понимания эволюционных процессов живого мира на Земле. Кроме того, в последнее десятилетие активно изучается яд скорпионов — их орудие защиты и нападения.

Оказалось, что яд представляет собой смесь полипептидных нейротоксинов, обладающих специфичностью действия по отношению к разным классам животных: млекопитающим, насекомым и ракообразным. Например, яд пестрого скорпиона содержит 12 индивидуальных токсинов, 4 из которых ядовиты для насекомых и 8 — для млекопитающих². Поскольку нейротоксины скорпионов разоблачают механизмы проведения нервного импульса, их изучение может внести существенный вклад в сравнительную молекулярную физиологию различных классов животных.

Кроме того, необычно строение хромосом скорпионов: каждая хромосома имеет вид замкнутого кольца. Этим, а также способностью переносить гигантские дозы рентгеновских лучей (до 1 тыс. рентген!) скорпионы привлекли внимание генетиков. Кто знает, какие перспективы могут открыться исследователям при глубоком изучении биологических процессов представителей скорпийного племени?

² Гришин Е. В. Токсины в нейрофизиологии. — Природа, 1978, № 10, с. 17.

Решена ли загадка рентгеновских барстеров?

У. Х. Дж. Льюин



Уолтер Х. Дж. Льюин — профессор Массачусетского технологического института США. Занимается исследованиями в области рентгеновской астрономии. Принимал участие в многочисленных экспериментах, проводимых с помощью аэростатов, а также спутников «ОСО-3», «САС-3» и «ХЕАО-1». Он и его коллеги открыли первый медленный рентгеновский пульсар (в октябре 1970 г.) и так называемый быстрый барстер (в мае 1976 г.). В 1978 г. удостоен премии НАСА.

Иногда о нерешенных научных проблемах говорят: тайна. Это слово более привычно для детективных историй, полных захватывающих головоломок, искусное распутывание которых приводит в конце концов к драматической развязке. Но и в науке много таких историй. Одна из них связана с загадкой космических рентгеновских барстеров¹.

Эти источники излучают раз в десять больше видимого света, чем наше Солнце, что само по себе никак их не выделяет. Но вот в рентгеновском диапазоне они светят в миллиарды раз сильнее Солнца. На фоне мощного слегка меняющегося потока рентгеновского излучения время от времени (например, несколько раз в день) видны короткие всплески: за несколько секунд, а иногда быстрее поток излучения возрастает в 10—100 раз. Весь всплеск, как правило, длится минуту, хотя наблюдаются как более длительные, так и значительно более короткие вспышки.

Источники рентгеновских всплесков необычайно мощные: Солнцу требуется приблизительно две недели, чтобы выделить такое количество энергии, какое барстер отдает за одну короткую вспышку.

Какие объекты могли бы вести себя столь странным образом и как происходят всплески? Эти вопросы несколько лет не давали нам покоя. Сначала мы пошли по неверному пути, но потом шаг за шагом первоначально разрозненные факты выстроились в стройную систему.

ДВОЙНЫЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ ИСТОЧНИКИ

Десять лет назад было известно около сотни галактических переменных рентгеновских источников. Предполагалось, что большинство из них является двойными системами, состоящими из рентгеновской звезды (которой может быть нейтронная звезда или, возможно, черная дыра²) и нормальной компоненты. Термин «нормальная» означает, что в недрах звезды ядерное топливо сгорает, как и в нашем Солнце, а нейтронные звезды и черные дыры уже израсходовали свои ядерные запасы. Поскольку две звезды находятся очень близко друг к другу, то их называют тесной двойной

¹ От английского burst — вспышка.

² Зельдович Я. Б., Новиков И. Д. «Черные дыры» во Вселенной.— Природа, 1972, № 4, с. 28. (Прим. ред.)

системой. Масса нейтронной звезды в такой системе сравнима с массой Солнца, тогда как ее радиус всего только 10 км (радиус Солнца около 700 тыс. км), поэтому ее плотность необычайно высока, приблизительно 10^{13} г/см³. Напряженность гравитационного поля вблизи поверхности нейтронной звезды в сто миллиардов раз выше, чем у поверхности Земли. Вещество — в основном водород — может перетекать от нормальной звезды к нейтронной. При этом вокруг нейтронной звезды образуется газовый диск, который называется аккреционным. Приближаясь к нейтронной звезде, газ разгоняется ее сильным гравитационным полем до очень больших скоростей и нагревается до температур 10—100 млн градусов. При столь высоких температурах он излучает, в основном, в рентгеновском диапазоне.

Такое представление о переменных рентгеновских источниках возникло в 1971 г., когда Р. Джиаккони, Э. Шрейер, Г. Тананбаум и их сотрудники, создавшие орбитальную рентгеновскую обсерваторию «Ухуру»³, открыли периодические пульсации (с периодом несколько секунд) и затмения (с периодом несколько дней) рентгеновского излучения от двух сильных рентгеновских источников. Рентгеновские пульсации возникают вследствие вращения звезды, обладающей сильным магнитным полем, когда ее магнитная ось не совпадает с осью вращения. Магнитное поле не дает веществу свободно падать на нейтронную звезду, а заставляет его двигаться вдоль силовых линий к магнитным полюсам. В результате на поверхности нейтронной звезды возникает два горячих пятна, которые, вращаясь вместе со звездой, создают видимые с Земли пульсации рентгеновского излучения. Рентгеновские затмения происходят, когда нейтронная звезда скрывается за имеющей значительно большие размеры нормальной звездой⁴.

После этого важного открытия казалось, что большинство переменных рентгеновских источников в нашей Галактике имеют ту же природу. Для проверки были

внимательно изучены многие сильные переменные рентгеновские источники, у которых пытались обнаружить «двойственность», т. е. наличие в источнике двух компонент, и найти рентгеновские пульсации, которые бы доказали, что рентгеновская звезда является нейтронной звездой, а не черной дырой. Дело в том, что у черных дыр нет поверхности, не бывает у них и сильного магнитного поля, поэтому они не могут создавать периодических рентгеновских пульсаций. Однако неожиданно выяснилось, что имеется множество рентгеновских источников, которые не пульсируют и не обнаруживают никаких признаков двойственности. Возник вопрос — могут ли эти источники принципиально отличаться от классических рентгеновских двойных систем, о которых я только что рассказывал. Вплоть до 1975 г. выдвигалось множество предположений. Прежде чем обсудить их, я коротко расскажу о различных методах, с помощью которых может быть установлена двойственность рентгеновских систем.

Если мы видим периодические рентгеновские затмения, то источник, без сомнения, двойной. Но если затмения не наблюдаются, это еще не означает, что рентгеновская звезда одиночная. Рентгеновские затмения будут происходить, только если наша Земля находится вблизи плоскости двойной системы, т. е. когда мы видим эту систему «с ребра». Если же плоскость орбиты видна под достаточно большим углом, затмений не будет. Тогда двойственную природу источника можно установить по доплеровскому⁵ изменению интервала между им-

³ О результатах полета этого спутника см. напр.: Курт В. Г. Перспективы внеатмосферных астрономических исследований.— Природа, 1972, № 5, с. 13. (Прим. ред.)

⁴ Гурский Г. Как выглядит небо в рентгеновских лучах (совсем другая Вселенная).— Природа, 1975, № 10, с. 34; Сюняев Р. А., Шакура Н. И. Жизнь умирающих звезд.— Там же, с. 46. (Прим. ред.)

⁵ Эффект Доплера играет огромную роль во всех разделах наблюдательной астрономии. Представим себе на некотором расстоянии от нас часовой механизм, посылающий точно один раз в секунду световые вспышки. Поскольку скорость света конечна, мы будем видеть вспышки с некоторой задержкой, но, если часы покоятся, вспышки будут приходить ровно один раз в секунду. Пусть теперь часы удаляются от нас со скоростью, скажем, 300 км/с (что вполне приемлемо для космического объекта). Тогда расстояние до них за время между двумя вспышками будет увеличиваться на 300 км, что приведет к дополнительному запаздыванию сигнала на 1 мс. Поэтому нам будет казаться, что интервал между вспышками не 1 с, а 1,001 с. Точно так же, если часы приближаются к нам, вспышки будут приходить каждые $1 - 0,001 = 0,999$ с. По этой же причине линии в спектре источника окажутся смещенными в красную сторону (больше период, больше длина волны), если источник удаляется от нас, и в синюю (короче период, короче длина волны), если источник приближается к нам.

пульсами, при условии, конечно, что излучение пульсирует.

Когда рентгеновских пульсаций нет, двойственность объекта можно обнаружить по результатам оптических наблюдений. Если нормальная компонента рентгеновской двойной системы достаточно яркая, ее можно наблюдать с Земли в оптические телескопы. Кроме того, если звезда оказывается спектроскопической двойной (т. е. вследствие орбитального движения линии в ее спектре периодически смещаются благодаря эффекту Доплера), двойственность можно считать доказанной. Таким образом, имеется несколько способов выяснить, является ли источник двойной системой.

ДВА ТИПА РЕНТГЕНОВСКИХ ИСТОЧНИКОВ

С использованием описанных методов к 1975 г. было открыто еще несколько двойных рентгеновских систем, но совсем не так много, как мы ожидали. Нормальные звезды в этих системах в большинстве случаев были очень яркими, а их массы значительно превосходили массу Солнца (раз в 10-20). Я буду называть эти системы объектами I типа. Их главный признак — не рентгеновские пульсации, а присутствие в системе массивной нормальной звезды. Часто наблюдаемые у них рентгеновские затмения также не являются характерным признаком, поскольку определяются ориентацией системы. Почти все объекты I типа пульсируют, но бывают и исключения. Например, Лебедь X-1 — тоже рентгеновская двойная система I типа, рентгеновской звездой в которой является, по-видимому, черная дыра. Ее компаньон — очень массивная звезда. Однако никаких затмений и пульсаций в рентгеновском диапазоне не наблюдается⁶.

Объекты I типа должны быть относительно молодыми, их возраст не должен превышать нескольких миллионов лет, поскольку звезды с массой, превышающей солнечную раз в 20, живут очень недолго. Всего за несколько миллионов лет они сжигают свое ядерное топливо, после чего прекращают существование, взрываясь как сверхновые. Этот взрыв выбрасывает вещество в межзвездное пространство, оставляя на месте звезды маленький плотный объект — нейтронную звезду.

Большое количество переменных рентгеновских источников, которые не проявляют никаких признаков двойственности и у которых не наблюдаются рентгеновские пульсации⁷, не связано с яркими оптическими компонентами. Интересно, что почти все такие источники (я буду называть их объектами II типа) расположены вблизи центра Галактики и в шаровых скоплениях. Это означает, что они принадлежат к старейшим объектам нашей Галактики; им, вероятно, около 10 млрд лет.

К 1975 г. природа объектов II типа была в общих чертах уже ясна, но что собой представляют объекты II типа, никто не знал. Может быть, это одиночные черные дыры? Тогда, действительно, должны отсутствовать рентгеновские пульсации и затмения. (Я уже объяснял, что черные дыры не могут создавать рентгеновских пульсаций, а если черная дыра не находится в двойной системе, то, очевидно, не будет и затмений.) Кроме того, становится понятной тщетность попыток отождествить источник с видимой звездой. Однако не исключалась и другая возможность: объекты II типа могли быть одиночными нейтронными звездами. Ведь вполне может существовать нейтронная звезда, которая не дает пульсирующего излучения: пульсаций не будет, если у такой звезды слабое магнитное поле или магнитная ось совпадает с осью вращения. А чтобы происходила аккреция достаточного количества вещества, которая бы обеспечивала наблюдаемую рентгеновскую светимость, нейтронная звезда или черная дыра должна быть окружена облаком газа. Скорость такой аккреции должна быть порядка 10^{17} г/с (что приблизительно соответствует одной массе Земли за две тысячи лет). Это сразу исключает аккрецию межзвездного газа, поскольку его плотность слишком мала. Скорость аккреции увеличивается с увеличением массы центрального объекта, поэтому очень массивный, но достаточно компактный объект даже в среде низкой плотности (но не такой низкой, как плотность межзвездного газа) будет, по-ви-

⁷ Далее в тексте, когда говорится о пульсациях, имеются в виду строго периодические импульсы, которые испускаются быстро вращающимися нейтронными звездами с сильным магнитным полем. Длительность импульсов порядка интервала между ними. Не следует путать импульсы со вспышками (всплесками) рентгеновских барстеров, которые повторяются не строго периодически, причем интервал между ними много больше длительности самих вспышек. (Прим. пер.)

⁶ Торн К. Вселенная загадывает загадки. — Природа, 1974, № 7, с. 92; Поиски «черных дыр». — Природа, 1974, № 6, с. 93. (Прим. ред.)

димому, создавать наблюдаемый эффект. Правда, нейтронных звезд с массой, превышающей приблизительно три солнечных, не бывает, но черная дыра может иметь любую массу.

Исходя из подобных рассуждений Дж. Бакал и Дж. Острайкер и независимо Дж. Силк и Дж. Аронс в 1975 г. выдвинули предположение: объектами II типа в шаровых скоплениях являются черные дыры с массой, более чем в сто раз превосходящей солнечную.

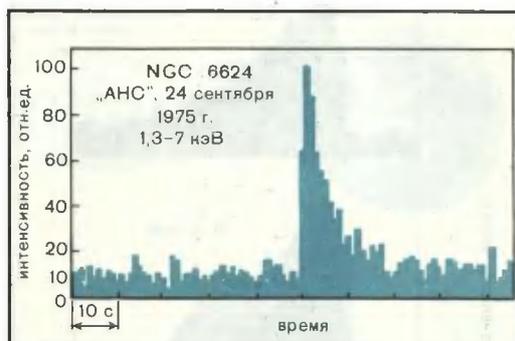
ОТКРЫТИЕ РЕНТГЕНОВСКИХ БАРСТЕРОВ

Идея очень массивной одиночной черной дыры получила некоторую поддержку в конце 1975 г., когда Дж. Гриндлей и Дж. Хейз с помощью спутника «АНС» открыли рентгеновские вспышки (часто говорят также — всплески) от объекта II типа, расположенного в шаровом скоплении NGC 6624. Вспышки были независимо обнаружены также Р. Бельяном, Дж. Коннором и У. Эвансом, работавшими со спутниками «Вела»⁸. По мнению Гриндлея и Гурского, вспышки, которые наблюдал «АНС», могли быть связаны с черной дырой массой более 100 масс Солнца. Они не предложили конкретного механизма вспышек, но постулировали существование коротких всплесков рентгеновского излучения, которое, по их предположению, рассеиваясь на очень горячем (около миллиарда градусов) газе, дает наблюдаемые профили всплесков. Такой горячий газ невозможно удержать слабым гравитационным полем объекта звездного типа, но мощное тяготение черной дыры массой более ста солнечных не дает ему рассеяться в пространстве. В свете предложенной ранее привлекательной модели массивной черной дыры — источника рентгеновского излучения в шаровых скоплениях — было очень тяжело отказаться от этой экзотической идеи, но, к сожалению, как мы увидим, оказалось, что она неверна.

После открытия рентгеновских всплесков в конце 1975 г. наша группа из Масачусетского технологического института с помощью орбитальной рентгеновской обсерватории «САС-3» открыла в феврале — марте 1976 г. пять источников рентгеновских всплесков — барстеров,

а до конца года различные группы, работавшие со спутниками «Вела», «ОСО-8», «Ухуру» и «САС-3», обнаружили еще десять барстеров. Все они принадлежали ко II типу и, несмотря на наши усилия, ни одного объекта I типа мы среди них не обнаружили. Стало ясно, что вспышки бывают только у объектов II типа (хотя не каждым такой объект является барстером), и что они, по-видимому, могут дать ключ к пониманию природы всех объектов II типа.

В 1976 г. было обнаружено, что

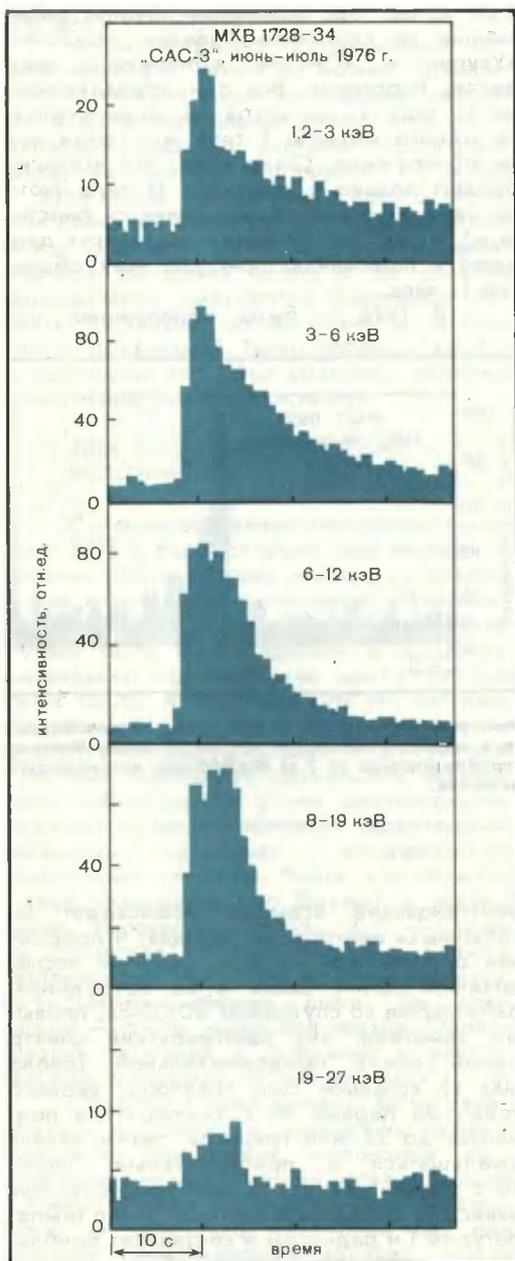


Рентгеновский всплеск от источника, расположенного в шаровом скоплении NGC 6624. Видно быстрое (приблизительно за 2 с) возрастание интенсивности всплеска.

рентгеновские вспышки происходят на «обычных» нейтронных звездах. Я подробнее остановлюсь на этом периоде исследований. Джин Сванк и ее сотрудники, работавшие со спутником «ОСО-8», первыми заметили, что рентгеновский спектр одной очень продолжительной (около 600 с) вспышки был спектром черного тела⁹. За первые 60 с температура поднялась до 26 млн градусов, затем начала уменьшаться и приблизительно через 10 с опустилась до 15 млн градусов. Как известно, светимость черного тела с температурой T и радиусом R составляет приблизительно $6,1 \cdot 10^{-7} R^2 T^4$ Вт (R дано в метрах, T — в градусах Кельвина). Поток энер-

⁹ Каждый объект поглощает часть падающего на него излучения. Объект называется черным телом, если все падающее излучение поглощается. Такое тело излучает особый спектр, определяемый только его температурой. Полная мощность, излучаемая черным телом, пропорциональна четвертой степени его температуры и площади его поверхности.

⁸ Вспышки космического рентгеновского излучения. — Природа, 1974, № 5, с. 133. (Прим. ред.)



Усредненные профили вспышек источника MXB 1728-34 в пяти энергетических интервалах. Длительность вспышка быстро уменьшается с увеличением энергии, что связано с охлаждением излучающей области: в самом низком диапазоне 1,2 — 3 кэВ вспышек продолжается 150 с, в диапазоне 6—12 кэВ — 40 с, а при энергиях 19—27 кэВ — только несколько секунд.

гии, измеряемый на Земле на расстоянии d от рентгеновской звезды, равен светимости звезды, деленной на $4\pi d^2$, т. е. приблизительно $5,7 \cdot 10^{-8} \frac{R^2 T^4}{d^2}$ Вт/см². Этот поток

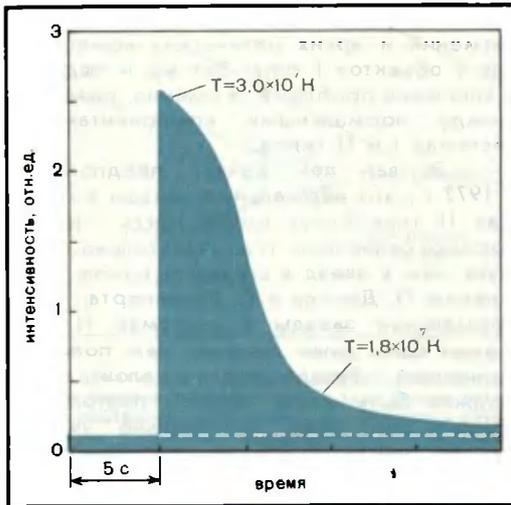
измерялся находящимися на спутнике рентгеновскими детекторами, а температура определялась по виду спектра. Поэтому, если известно расстояние до рентгеновской звезды, можно вычислить ее радиус. Предполагая, что $d=30\ 000$ св. лет, Сванк получила радиус около 100 км в первые 15 с вспышки, а затем более или менее постоянный радиус — приблизительно 15 км. Принятое значение d вполне разумно, поскольку большинство источников вспышек находится вблизи галактического центра, расстояние до которого около 30 000 световых лет.

Подобным же образом Дж. Хофман, Дж. Доти и я установили, что во время затухания всплеска радиусы двух других рентгеновских вспыхивающих звезд составляли примерно 10 км. Мы не смогли измерить радиус рентгеновской звезды в момент увеличения блеска, когда температура повышалась, поскольку в это время ее спектр был не такой, как у черного тела. Оказалось, что время затухания всплеска было различно в разных диапазонах энергии. При температуре около 30 млн градусов рентгеновская звезда излучает во всем диапазоне от 1 до 20 кэВ. Но когда она охладится до 10 млн градусов, жесткое рентгеновское излучение уже отсутствует и основная энергия выделяется в интервале 1—7 кэВ. Поэтому всплеск затухает медленнее в области низких энергий, чем высоких.

Измерения радиуса рентгеновской звезды дали первое убедительное доказательство того, что вспыхивающие рентгеновские звезды, а поэтому, вероятно, и большинство рентгеновских звезд в объектах II типа, являются нейтронными. Если бы источниками вспышек служили массивные черные дыры, были бы получены значительно большие значения радиусов, так как радиус «горизонта событий» черной дыры массой 200 солнечных составляет приблизительно 600 км. В 1977 г. Я. Парадиз показал, что все источники рентгеновских вспышек имеют радиус порядка 10 км.

Еще одно подтверждение того, что объекты II типа представляют собой нейтронные звезды, пришло весной 1978 г., когда первые тщательные теоретические расчеты, проведенные П. Джоссом, показали, что рентгеновские вспышки, вероятно,

возникают в результате ядерных взрывов на поверхности нейтронной звезды. Оригинальную идею о том, что вспышки возникают благодаря таким неуправляемым термоядерным реакциям, вслед за пионерской работой К. Иенсена и Х. Хорна, выдвинули Лаура Мараски и А. Кавальере, и также независимо С. Вузли и Т. Таам. Модель проста; идет аккреция водорода на нейтронную звезду. Точно так же, как и в случае объектов I типа, выделяющаяся при этом гравитационная энергия излучается в рентгеновском диапа-



Теоретический рентгеновский всплеск, рассчитанный П. Джоссом для одной из моделей термоядерных всплесков. Видно быстрое нарастание интенсивности, которая в пике в 25 раз превышает интенсивность стационарного излучения (показано пунктиром). Этот профиль очень хорошо совпадает со спектром МХВ 1728-34 для интервала в 12 кэВ (см. с. 90, в центре). Вблизи максимума интенсивности температура поверхности нейтронной звезды составляет 30 млн градусов, что согласуется с наблюдениями. Приблизительно через 10 с температура — около 18 млн градусов.

зоне. Водород, собирающийся на поверхности нейтронной звезды, в результате термоядерных реакций превращается в гелий (образуется слой гелия, расположенный под слоем водорода). После того как на поверхности соберется приблизительно 10^{21} г вещества, в гелиевом слое достигаются критические значения температуры и плотности, при которых начинается реакция синтеза углерода из гелия. Происходит мощный взрыв, который и дает вспышку рентгеновского излучения. Интер-

вал между вспышками зависит от скорости аккреции и от температуры нейтронной звезды. При типичном потоке вещества 10^{17} г/с это время должно быть около 3 ч, при меньших скоростях аккреции оно увеличивается.

С помощью модели термоядерной вспышки удалось успешно объяснить многие, хотя, конечно, не все наблюдаемые свойства барстеров; например, быстрое — в течение секунд — нарастание светимости, наблюдаемые интервалы между всплесками, температуры около 30 млн



Модель рентгеновского барстера. Вверху общая картина аккреции в двойной системе. Стационарное рентгеновское излучение горячей плазмы происходит все время, пока идет аккреция. Внизу — накопление плазмы (в основном водорода) на поверхности нейтронной звезды. В результате термоядерных реакций образуется гелий. При достижении критических условий происходит термоядерный взрыв, в результате которого гелий превращается в углерод. Этот взрыв и создает вспышку рентгеновского излучения. Следующий взрыв происходит через несколько часов или дней.

градусов в максимуме блеска и последующее охлаждение объекта радиусом 10 км (т. е., нейтронной звезды). Если эта модель правильна, она исключает черную дыру, поскольку, как я уже отмечал, у черных дыр нет поверхности, на которой бы могло скапливаться и взрываться падающее вещество.

Во время периодов высокой всплесочной активности, энергия, излучаемая источником во вспышках, составляет приблизительно 1% от энергии, излучаемой

в стационарном потоке между всплесками. Это легко понять, используя модель термоядерных вспышек. Каждый протон (ядро атома водорода), который падает на нейтронную звезду, обладает кинетической энергией порядка 100 МэВ. Выделение этой энергии и создает стационарный поток рентгеновского излучения. Из водорода постоянно синтезируется гелий, который затем превращается в углерод при термоядерном взрыве, обуславливающим рентгеновскую вспышку. Энергия, выделяющаяся во время синтеза углерода из гелия, составляет всего около 1 МэВ/нуклон. Таким образом, в среднем энергия вспышек приблизительно в сто (т. е., 1 МэВ/100 МэВ) раз меньше энергии стационарного потока рентгеновского излучения.

В ЧЕМ ПРИЧИНА ОТЛИЧИЯ ОБЪЕКТОВ I И II ТИПОВ

Если нейтронные звезды находятся в объектах I, и II типов, почему тогда эти объекты столь сильно различаются? Почему вспышки наблюдаются только у объектов II типа (хотя и не у всех из них) и почему у них не видят пульсаций? Почему пульсируют только объекты I типа (хотя и не все), но у них не наблюдаются вспышки? Существуют и другие важные вопросы, на которые необходимо ответить: являются ли объекты II типа двойными системами, и если так, то почему мы не видим ярких оптических компонент, как у объектов I типа? Почему у объектов II типа не наблюдаются рентгеновские затмения? Попробуем ответить на эти вопросы по порядку.

Причина, по которой объекты II типа вспыхивают, но не пульсируют, а объекты I типа пульсируют, но не дают вспышек, связана с огромной разницей в их возрасте. Молодые нейтронные звезды, которые мы часто находим в объектах I типа, могут обладать очень сильными магнитными полями, благодаря которым и возникают пульсации. В то же время магнитное поле очень старых нейтронных звезд (объекты II типа), по-видимому, уже очень мало (затухло), аккреция не ограничена областью вблизи магнитных полюсов, поэтому нет пульсаций.

Труднее понять, почему у объектов I типа нет вспышек, а у объектов II типа они наблюдаются. П. Джосс предположил, что это также связано с различием в напряженности магнитного поля: значительная концентрация аккрецирующего вещества вблизи магнитных полюсных

шапок и мощные магнитные поля в поверхностных слоях нейтронной звезды (объекты I типа) стабилизируют ядерное горение, предотвращая взрыв.

Теперь перейдем к вопросу о двойственности объектов II типа. В настоящее время уже нет никаких сомнений в том, что эти объекты являются двойными системами. Мы знаем, что скорость аккреции в них порядка 10^{17} г/с. Только находящийся рядом «резервуар» (т. е. звезда) может обеспечить такое количество вещества (делались и другие предположения, но они не согласуются с наблюдениями). Почему же мы не видим рентгеновских затмений и ярких оптических компонент, как у объектов I типа? Вот мы и подошли к ключевой проблеме, а именно, различию между нормальными компонентами в системах I и II типов.

Э. ван ден Хейвел предположил в 1977 г., что нормальные звезды в системах II типа могут иметь массу только порядка солнечной, т. е. значительно меньшую, чем у звезд в системах I типа. А по мнению П. Джосса и С. Раппопорта, масса нормальной звезды в системах II типа может быть даже меньше, чем половина солнечной. Звезда столь малой массы должна быть очень слабой, поэтому ее трудно или даже невозможно увидеть на расстоянии 30 000 св. лет. Например, Солнце на таком расстоянии было бы видно, как слабая звездочка 20-й звездной величины (а если учесть межзвездное поглощение, то еще слабее), едва различимая в крупнейшие оптические телескопы.

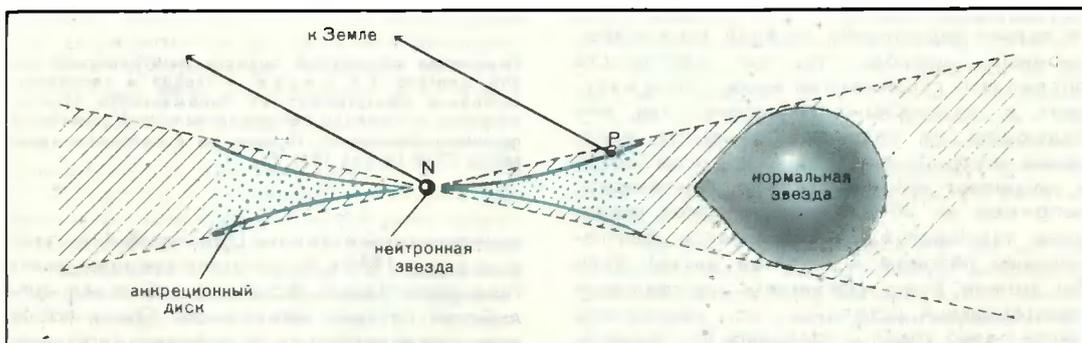
Почему мы не наблюдаем рентгеновских затмений у объектов II типа, если в них находится нормальная звезда малой массы? Объяснить это довольно сложно, но я попытаюсь это сделать, опуская специальные детали. При произвольной ориентации двойной системы относительно земного наблюдателя вероятность того, что нейтронная звезда будет затмеваться нормальной, зависит только от размера последней и от расстояния между ними. Радиус нормальной звезды связан с ее массой: при увеличении массы от 0,01 до 0,08 солнечной радиус уменьшается приблизительно от 60 000 до 30 000 км. Для звезд, масса которых превышает 0,08 солнечной, радиус увеличивается с увеличением массы. Звезда массой порядка солнечной имеет радиус около 700 000 км. Нам сейчас достаточно знать, что радиус звезды заданной массы всегда можно определить. Поэтому, если удастся оценить расстояние между нормальной компо-

нентой системы и нейтронной звездой, мы сможем определить и вероятность затмения.

Для оценки расстояния между компонентами проведем мысленный эксперимент. Пусть нормальная звезда находится на большом расстоянии от нейтронной, так что никакого переноса вещества не происходит. Теперь будем сближать звезды. В конце концов окажется, что вещество на поверхности нормальной звезды в точке, ближайшей к нейтронной звезде, будет сильнее притягиваться к

нормальных звезд в объектах этого типа оказались меньше 0,01 солнечной? На мой взгляд, маловероятно. Нормальные звезды в объектах II типа, без сомнения, имеют малые массы, но есть веские основания — на них я остановлюсь позднее — считать, что массы по крайней мере некоторых из них лежат в диапазоне 0,5—1 солнечной. Может быть, что-то неверно в вычислениях, о которых рассказано выше? Нет, просто малая масса — это еще не все.

При перетекании вещества образуется аккреционный диск, окружающий нейт-



Схема, объясняющая, в каких случаях можно наблюдать рентгеновские затмения. Если Земля находится в заштрихованном конусе, мы не увидим рентгеновского излучения, поскольку оно будет «перезвачено» диском, поэтому рентгеновское затмение не будет наблюдаться. Если Земля находится в направлении, указанном стрелкой, мы сможем «заглянуть» за край диска и увидим рентгеновское излучение нейтронной звезды [N]. Так как расстояние N-P-Земля больше, чем N-Земля, то оптические всплески запаздывают по сравнению с рентгеновскими (см. текст).

нейтронной звезде, чем к нормальной. Тогда начнется свободное перетекание вещества на нейтронную звезду. Расстояние, на котором в этот момент будут находиться звезды, и есть искомая величина расстояния между компонентами двойной системы, в которой идет аккреция вещества.

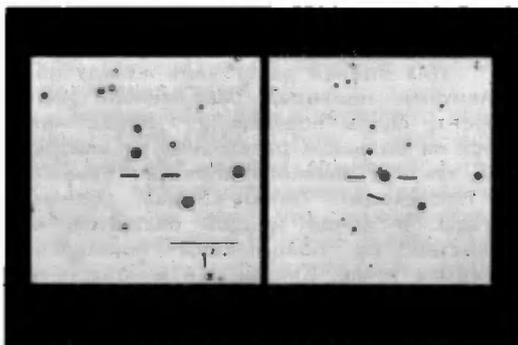
Расчеты показывают, что для случайно ориентированных двойных систем с нейтронной звездой приблизительно солнечной массы и нормальной компонентой с массой 0,01 солнечной вероятность наблюдения затмений составит 10%. Эту вероятность следует увеличить до 20 и 40%, если массу нормальной компоненты принять равной соответственно 0,1 и 1 солнечной. Однако мы еще ни разу не наблюдали затмений в объектах II типа. Может ли быть, чтобы массы большинства

ронную звезду. Если он очень толстый, а нормальная звезда достаточно мала (т. е., имеет малую массу), то наблюдатель на нейтронной звезде может не видеть нормальную компоненту системы, поскольку она закрывается аккреционным диском. М. Милгром отметил, что при таких условиях наблюдатель на Земле не будет видеть рентгеновских затмений. Чтобы увидеть рентгеновские затмения, мы должны находиться вблизи плоскости орбиты двойной системы. Но это означает, что Земля расположена в плоскости диска и идущее к нам рентгеновское излучение просто перехватывается диском, поэтому мы такого источника вообще не увидим. Рентгеновское излучение достигнет нас, только если плоскость двойной системы наклонена под достаточно большим углом к лучу зрения, так что мы сможем «заглянуть» за край аккреционного диска. В системе с таким наклоном нормальная звезда не будет закрывать нейтронную, поэтому не будет и рентгеновских затмений. Другими словами, те системы, в которых могли бы быть затмения, вообще не наблюдаемы, и из-за эффекта селекции мы видим только те системы, в которых затмений нет. Этим можно объяснить, почему у всех 20 тщательно изученных объектов II типа не наблюдаются затмения.

ОПТИЧЕСКАЯ КОМПОНЕНТА БАРСТЕРА

Как я уже упоминал, звезды малых масс в объектах II типа должны давать слабое оптическое излучение. Их обнаружение с помощью мощных оптических телескопов послужило бы хорошим подтверждением идеи о том, что объекты II типа являются двойными системами малой массы. К настоящему времени обнаружено несколько таких звезд, однако существует серьезное затруднение. В объектах II типа видимый свет излучается не только нормальной звездой, но и аккреционным диском, причем светимость последнего существенно выше. Диск излучает в оптическом диапазоне, так как падающее на него рентгеновское излучение центрального источника поглощается и нагревает его до высоких температур, например до 30—50 тыс. градусов (величина температуры определяется рентгеновским потоком и формой диска). Если бы можно было выключить центральный рентгеновский источник, то светимость диска резко упала и появилась бы возможность наблюдать нормальную компоненту системы.

На этот раз природа оказалась добра к нам: существуют объекты II типа, которые могут внезапно появиться на небе в виде мощных рентгеновских источников, оставаться такими в течение недель или месяцев, а затем постепенно гаснуть. Это «транзиентные»¹⁰ источники, или рентгеновские новые. Вспышки рентгеновских новых (их не следует путать со значительно более короткими рентгеновскими всплесками) могут повторяться с интервалами порядка года. Эти источники очень удобны для поиска слабых нормальных компонент после «выключения» центрального рентгеновского источника. Но как определить, какая часть излучения приходит от диска, а какая — от нормальной звезды? В оптическом спектре нормальной компоненты системы, как и у всех звезд, наблюдаются линии поглощения. В общем случае по спектральным измерениям можно определить температуру и массу звезды. С другой стороны, в спектре аккреционного диска видны линии излучения, которых нет у звезд. Возьмем, к примеру,



Изменение оптической яркости рентгеновской новой Центавр X-4. Слева — звезда в спокойном состоянии [фотография из Паломарского атласа], справа — звезда во время вспышки [пластинка получена Мартой Х. Лиллер на 4-метровом телескопе CT10 19 мая 1979 г.].

транзиентный источник Центавр X-4, в котором в мае 1979 г. произошла вспышка рентгеновской новой. Вспышку наблюдал английский спутник «Ариэль-5». Сразу после того, как телеграммы Международного астрономического союза сообщили об этом событии, в сторону источника были направлены мощные оптические телескопы, и оказалось, что ранее неприметная звездочка стала существенно ярче. Ее оптический спектр был эмиссионным, линий поглощения не наблюдалось. В последующие недели рентгеновский поток уменьшился, оптическая светимость тоже. (В период уменьшения рентгеновской светимости японская рентгеновская обсерватория «Хакучо» наблюдала рентгеновские вспышки.) Приблизительно через пять недель после вспышки рентгеновской новой оптическая светимость уменьшилась примерно в сто раз и в оптическом спектре появились линии поглощения, характерные для звезды с температурой примерно 5000 К (спектрального класса K3 — K7). По спектру определили, что масса звезды приблизительно составляет 0,7 солнечных.

Аналогичным образом в 1976 и 1977 гг. проводились наблюдения рентгеновских новых АО 620-00 и Орел X-1. Интересно, что вскоре после того, как светимость источника Орел X-1 достигла максимума, наблюдались — так же, как и у Центавра X-4 — рентгеновские всплески. У источника АО 620-00 всплески не зарегистрированы.

В настоящее время массы нормальных компонент известны только для четы-

¹⁰ От английского transient — переходный. Об этом см.: Бисноватый-Коган Г. С. На рентгеновском небе — новые звезды. — Природа, 1976, № 5, с. 49. (Прим. ред.)

рех систем II типа. Две из них — Орел X-1 и Центавр X-4 — являются источниками всплесков. У всех этих систем массы нормальных звезд около 0,7 солнечных и меньше, что подтверждает нашу модель. В соответствии с законом тяготения Ньютона, в этой модели орбитальные периоды должны иметь значения от долей часа до нескольких дней. Очень важно измерить эти периоды, однако сделать это для рентгеновского источника, у которого не наблюдается ни пульсаций, ни затмений, нелегко. Мало надежды определить период обращения с помощью эффекта Доплера в оптическом спектре, поскольку линии излучения в спектре аккреционного диска сильно расширены из-за вращения диска вокруг нейтронной звезды, если и наблюдаются, то очень слабые. И все же существует пять объектов, у которых удалось измерить периоды обращения. Четыре из них имеют значения от 0,7 до 19 ч, а период источника Лебедь X-2 оказался равным 9,8 дней (масса нормальной звезды в этой системе около 0,7 солнечной), что находится в хорошем соответствии с нашей моделью. По-видимому, периоды источников Орел X-1 и Центавр X-4 составляют 31 и 8 ч соответственно, однако эти данные ненадежны.

БАРСТЕР — ИДЕАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ОКРЕСТНОСТЕЙ НЕЙТРОННОЙ ЗВЕЗДЫ

Теперь, наконец, мы можем перечислить характерные черты объектов II типа. Это двойные системы, которые содержат очень старую нейтронную звезду и также очень старую нормальную звезду малой массы. Благодаря аккреции вещества на нейтронную звезду с ее поверхности и из внутренних частей диска возникает стационарный рентгеновский поток. Рентгеновские всплески, по-видимому, происходят при термоядерных взрывах на поверхности нейтронной звезды. Под действием мощного рентгеновского излучения аккреционный диск нагревается и излучает в оптическом диапазоне существенно ярче, чем нормальная компонента системы.

Если эта общая картина верна, следует ожидать, что с увеличением рентгеновской светимости источника должна увеличиваться температура аккреционного диска и, следовательно, его оптическая светимость. При этом отклик в оптическом диапазоне должен запаздывать, поскольку расстояние от нас до нейтронной звезды меньше, чем сумма расстояний от нейтронной звезды до диска и от диска до нас (см. рис. на с. 93).

Резкое увеличение рентгеновского потока не просто приводит к появлению запаздывающего оптического сигнала. Поскольку диск имеет значительные размеры, сигнал, кроме того, должен быть сильно размазан во времени (так как разные участки диска дают сигнал с разным запаздыванием). Измерение величины запаздывания и уширения сигнала может дать такую информацию об аккреционном диске, которую нельзя получить никаким другим способом. Наблюдаются ли резкие изменения рентгеновского потока? Конечно, это — рентгеновские всплески! Они являются идеальным инструментом для изучения окрестностей нейтронной звезды. К сожалению, происходят они нерегулярно и, как правило, не чаще, чем каждые 2-10 ч, а иногда реже. Однако при хорошей согласованности и некотором терпении можно одновременно наблюдать вспышку на наземном оптическом телескопе и на орбитальной рентгеновской обсерватории.

Летом 1977 г. еще до того, как мы до конца осознали, какую именно информацию можно получить из таких наблюдений, Дж. Хофман и я организовали первые координированные в мировом масштабе наблюдения барстеров. В них приняли участие сорок четыре астрономические обсерватории (оптические, инфракрасные и радио-) из 14 стран. Рентгеновские наблюдения проводились группой «САС-3» из Массачусетского технологического института (МТИ). За 35 дней зарегистрировали 120 всплесков от десяти источников. Но ни в радио-, ни в оптическом, ни в инфракрасном диапазонах ничего интересного зарегистрировано не было.

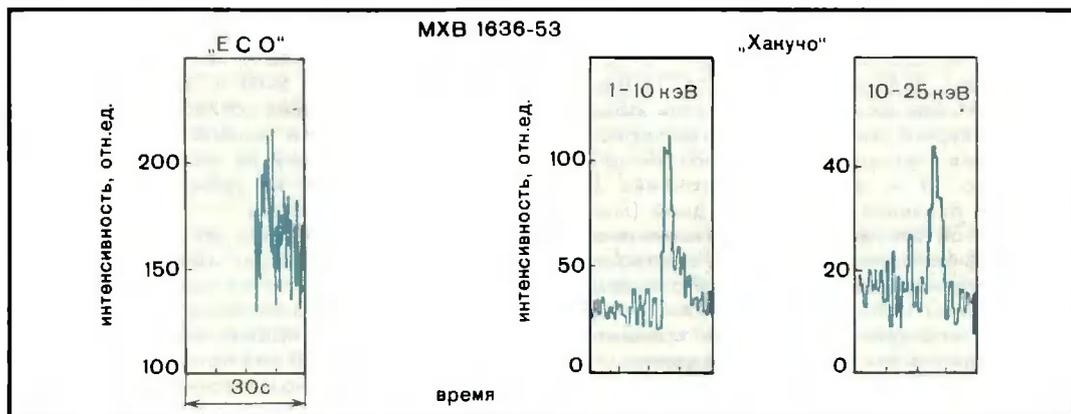
В следующем году мы возобновили попытки, значительно улучшив оптическую чувствительность приборов. 2 июня 1978 г. нам (объединенной группе Гарвард—МТИ), наконец, удалось зарегистрировать одновременную вспышку в рентгеновском и оптическом диапазонах от источника МХВ 1735-44, который годом раньше был отождествлен Макклиттоком с очень слабой оптической звездой 17,5-й звездной величины (МХВ означает — МТИ-рентгеновский (X-Ray) барстер). С тех пор подобные совпадающие вспышки были обнаружены еще у двух источников, и каждый раз оптический сигнал запаздывал на несколько секунд по отношению к рентгеновскому¹¹.

¹¹ Оптические исследования рентгеновских объектов.— Природа, 1980, № 5, с. 109. (Прим. ред.)

Проводить одновременные наблюдения в рентгеновском и оптическом диапазонах очень трудно. Во-первых, так как оптические компоненты очень слабы, необходимы большие телескопы (диаметром 2 м и более), а получить наблюдательное время на них очень трудно. Во-вторых, наблюдения необходимо проводить в «темное время» (вблизи новолуния), чтобы лунный свет не мешал наблюдениям. Получить телескоп в это время еще сложнее, поскольку оно очень ценится. В-третьих, вспышки происходят нерегулярно, иногда их приходится

та — М. Ода). Когда были зарегистрированы десять других оптических вспышек, «Хакучо» или не наблюдала МХВ 1636-53, или данные в это время не передавались на Землю. Оптический поток от этого источника удваивался менее чем за несколько секунд приблизительно через 3,5 с после соответствующей рентгеновской вспышки. Отсюда следует, что радиус аккреционного диска приблизительно равен миллиону километров.

Летом 1980 г. наблюдения этого источника были продолжены. Измерения прово-



Оптические и рентгеновские всплески, одновременно наблюдавшиеся у источника МХВ 1636-53. Слева — данные оптических наблюдений обсерватории «ЕСО», справа — данные, полученные японской рентгеновской обсерваторией «Хакучо» в двух энергетических диапазонах. В подобных наблюдениях рентгеновское излучение используется для зондирования окрестностей рентгеновской звезды. У этого источника оптический отклик запаздывает приблизительно на 3,5 с. Столь малое запаздывание практически не видно на рисунке, так как масштаб времени слишком велик.

дились отдельно в ультрафиолетовом диапазоне, в голубом участке спектра и в видимом свете. Сейчас данные наблюдений обрабатываются. Возможно, теперь нам удастся увидеть изменения температуры диска, когда он нагревается рентгеновским излучением. Мы полагаем, что диск нагревается, когда рентгеновское излучение нарастает, а затем, когда рентгеновский всплеск затухает, охлаждается.

БЫСТРЫЙ БАРСТЕР

ждать целыми днями. Нелегко убедить астронома проводить драгоценное «темное время» на большом телескопе, уставившись на звезду, которая может и не вспыхнуть. Для этого требуется большая настойчивость.

Однако Х.Педерсен из Южноевропейской обсерватории посвятил себя этим наблюдениям, и его упорство было вознаграждено. Летом 1979 г. он зарегистрировал 15 оптических вспышек от МХВ 1636-53, причем пять из них одновременно зарегистрировала японская рентгеновская обсерватория «Хакучо» (руководитель эксперимен-

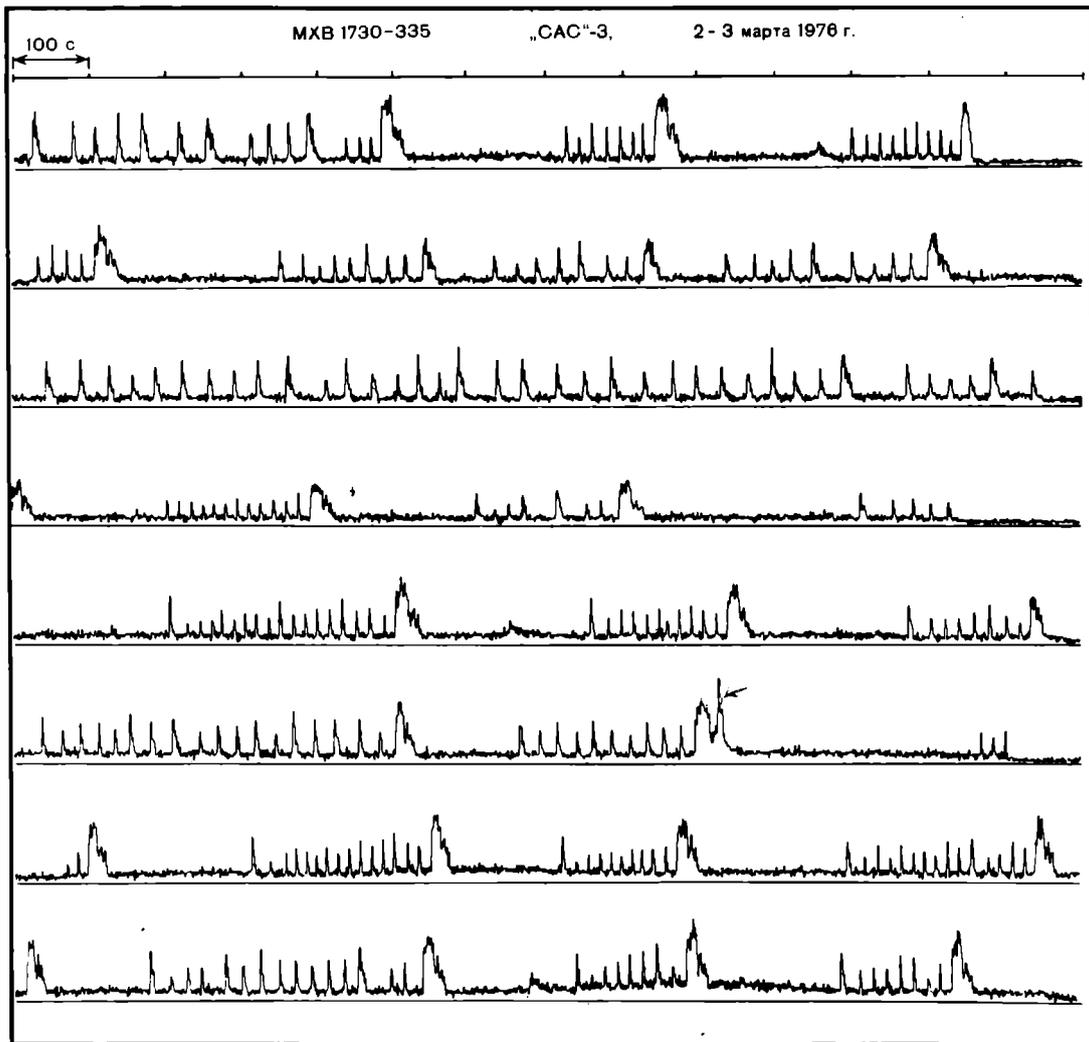
Теперь я бы хотел рассказать об уникальном объекте, который резко отличается от всех других источников всплесков, — о быстром барстере. Сначала он никак не вписывался в общую картину, но затем приобрел решающее значение для понимания природы всплесков.

Мы открыли быстрый барстер (его официальное название МХВ 1730-335) в начале марта 1976 г. Вспышки следовали одна за другой с частотой до нескольких тысяч в день. Это было совершенно непохоже на все, что мы видели до сих пор, ведь остальные барстеры производят, как правило, всего несколько — до пятнадцати — вспышек

в день. По энергии вспышки различались очень сильно — раз в сто, — что также было совершенно непохоже на другие барстеры. Всплески быстрого барстера, продолжавшиеся дольше, чем 15 с, имели плоскую вершину, а их энергия была практически пропорциональна интервалу времени до следующего всплеска. Это напоминает релаксационный генератор. «Земным» примером такого устройства является неоновая трубка, соединенная параллельно с конденсатором, который заряжается с постоянной скоростью. Когда разряд слаб (а значит, ма-

ло выделение энергии), критическое напряжение пробоя быстро достигается снова; однако после очень сильного разряда следующего придется ждать значительно дольше.

Когда мы открыли быстрый барстер, почти не было сомнений, что всплески происходят из-за неустойчивости аккреционного потока. Если бы они производились термоядерными взрывами, то в стационарном потоке мы должны были бы принимать в сто раз большую энергию, однако столь аномально сильного излучения никто не видел. Поэтому быстрый барстер не укладывался



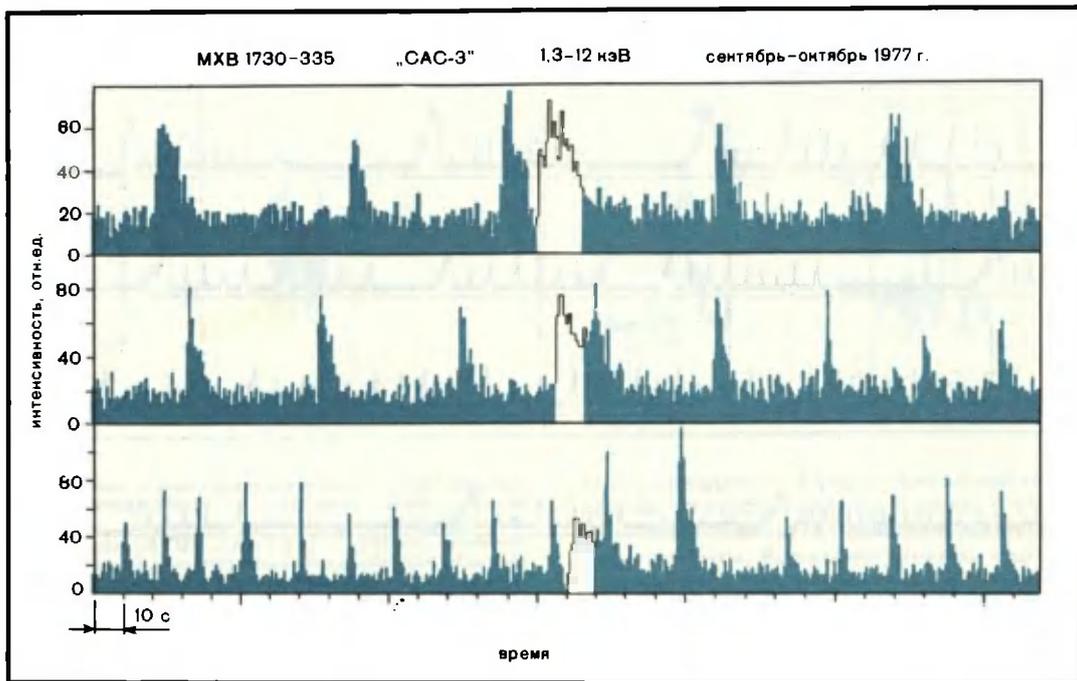
Быстро повторяющиеся всплески от быстрого барстера MXB 1730-335. Каждая строчка — результат 24-минутных наблюдений. После широкого всплеска время ожидания следующего больше, чем после

узкого. Это напоминает поведение релаксационного генератора (см. текст). Всплеск, показанный стрелкой, относится не к быстрому барстеру, а к соседнему рентгеновскому источнику MXB 1728-34.

в рамки имеющейся теории, так как термоядерный механизм не может давать вспышки со скоростью пулемета.

Я хорошо помню воодушевление, с которым воспринял сообщенную мне в феврале 1976 г. Лаурой Мараски идею, что рентгеновские всплески происходят в результате термоядерных взрывов. Но энтузиазм сразу иссяк, когда месяц спустя мы открыли быстрый барстер. Если при ядерных взрывах действительно происходят рентгеновские вспышки, которые наблюдаются у всех остальных барстеров, то для объясне-

наблюдали его с помощью спутника «САС-3». В дополнение к быстро повторяющимся вспышкам мы обнаружили, что каждые три-четыре часа происходит вспышка, совершенно непохожая на остальные (такие вспышки мы назвали особыми). Мы были уверены, что особые вспышки приходят от быстрого барстера, а не от какого-нибудь другого объекта, поскольку их появление существенно отражалось на всей картине быстро повторяющихся вспышек. Скоро обнаружилось, что особые вспышки очень похожи на всплески от обычных барстеров: ин-



Особые рентгеновские всплески у быстрого барстера (белая часть спектра). Они происходят независимо от последовательности быстро повторяющихся всплесков. Каждая строчка соответствует 320 с наблюдений. Особые всплески сильно отличаются от быстроповторяющихся.

ния вспышки быстрого барстера требовался совершенно иной механизм, а это выглядело не очень привлекательно.

Итак, быстрый барстер сначала выглядел досадным исключением, но через 18 месяцев он стал краеугольным камнем теории. В апреле 1976 г. вспышки быстрого барстера прекратились. К счастью, приблизительно каждые полгода источник снова на несколько недель становится активным. В конце 1977 г. Хофман, Маршалл и я снова

тервал между ними несколько часов; длительность и мощность всех 18 особых вспышек, которые мы наблюдали, приблизительно одинаковы; при низких энергиях длительность всплеска больше, чем при высоких; это обстоятельство необычайно важно, поскольку характерно для всех барстеров и объясняется чернотельным характером спектра излучения.

Теперь, когда были обнаружены вспышки двух типов (быстроповторяющиеся и особые), идея о термоядерных взрывах получила второе рождение. Было очень заманчиво объяснить особые вспышки термоядерными взрывами, а быстроповторяющиеся — неустойчивостью аккреционного потока (последнее мы предполагали уже в марте 1976 г.). Если эта идея верна, энергия

быстроповторяющихся вспышек, усредненная за время, скажем, нескольких дней, должна быть приблизительно в сто раз больше, чем энергия, выделяющаяся в особых вспышках. (Как я объяснял раньше, число сто — это отношение гравитационной потенциальной энергии к ядерной). По нашим измерениям, соответствующее отношение равно 130, что находится в отличном согласии с моделью. Итак, особые вспышки являются таковыми только для быстрого барстера, на самом же деле это обычные термоядерные вспышки, характерные для всех остальных барстеров.

Это открытие, сделанное в конце 1977 г., стало поворотным пунктом в наших поисках. Мы снова вернулись к модели термоядерных взрывов. Весной 1978 г. П. Джосс убедительно показал, что особые вспышки от быстрого барстера и обычные рентгеновские вспышки от всех остальных источников имеют термоядерное происхождение.

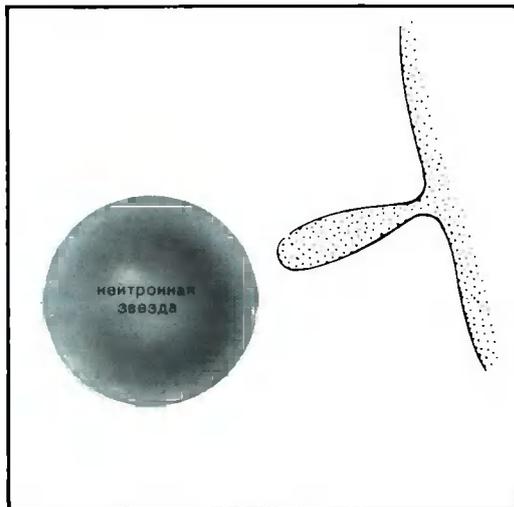
Сейчас нам понятны многие свойства рентгеновских барстеров, а следовательно, и всех объектов II типа. Они представляют собой сколлапсировавшие образования приблизительно солнечной массы; вероятно, в большинстве случаев это — нейтронные звезды, на которые идет аккреция газа, перетекающего с очень слабой нормальной звезды малой массы. Судя по всему, рентгеновские вспышки возникают в результате термоядерных взрывов в поверхностных слоях нейтронной звезды, а вспышки у быстрого барстера, почти наверняка, являются результатом «спазматической» аккреции на нейтронную звезду.

Но, как обычно бывает в науке, ответы порождают новые вопросы. Какова природа неустойчивости, которая приводит к необычному явлению быстрого барстера? Почему картина быстроповторяющихся вспышек не наблюдается у других рентгеновских источников? Почему «выключается» быстрый барстер? Как возникают очень старые тесные двойные системы малой массы (объекты II типа)?

В 1975 г. Дж. Кларк предположил, что объекты, расположенные в шаровых скоплениях, возникают при очень тесных сближениях нейтронных звезд и обычных звезд малой массы. Но как тогда образуются объекты II типа, расположенные вне шаровых скоплений? Ответа пока нет. Тем не менее мы прошли очень долгий путь. Пять лет назад объекты II типа были белым пятном в науке, а рентгеновские барстеры еще не были известны. Сейчас, кажется, мы находим-

ся на пути к удовлетворительному пониманию того, что собой представляют эти объекты и какова природа вспышек. Сами вспышки дали нам в руки новый очень мощный инструмент для изучения свойств нейтронных звезд, аккреционных дисков вокруг них и тесных двойных систем, в которых эти вспышки происходят.

Однако существует реальная опасность, что эта новая многообещающая область исследований в 80-е годы придет в упадок. Сейчас только японская обсерватория «Хакучо» вместе с наземными обсер-



«Спазматическая» аккреция. Вещество падает на нейтронную звезду отдельными каплями, вызывая быстроповторяющиеся рентгеновские вспышки. Образование капель регулируется каким-то пока неизвестным клапаном; чем дольше клапан открыт, тем дольше длится всплеск и тем больше требуется времени, чтобы сформировалась следующая капля.

ваториями может наблюдать рентгеновские вспышки. Но время ее жизни ограничено; по-видимому, она будет функционировать еще только несколько лет. Европейское космическое агентство (ESA) собирается в 1982 г. запустить рентгеновскую обсерваторию, но это еще под вопросом. Будем надеяться, что НАСА осуществит запланированный запуск спутника «ХТЕ» (X-Ray Timing Explorer — спутник для исследования временной структуры рентгеновских источников). Эта рентгеновская обсерватория идеально приспособлена для изучения сильно переменных явлений, таких как рентгеновские вспышки.

Перевод с английского Ю. Э. Любарского.

Космические исследования

Запуски космических аппаратов в СССР (май — июнь 1981 г.)

В мае — июне 1981 г. в Советском Союзе было запущено 15 космических аппаратов, в том числе 10 спутников серии «Космос» с научной аппаратурой, предназначенной для продолжения исследований космического пространства. На двух спутниках этой серии («Космос-1273 и -1276») установлена научная аппаратура для продолжения исследований природных ресурсов Земли в интересах различных отраслей народного хозяйства СССР и международного сотрудничества. Информация от них поступает в Государственный научно-исследовательский и производственный центр «Природа» для обработки и использования.

Транспортный космический корабль «Союз-40» доставил на орбитальную станцию «Салют-6» девятый международный экипаж по программе «Интеркосмос» в составе командира корабля летчика-космонавта СССР Л. И. Попова и космонавта-исследователя гражданина СРР Д. Прунариу. В течение семи дней члены международного экипажа совместно с космонавтами В. В. Коваленком и В. П. Савиных выполнили обширную программу исследований и экспериментов¹.

На метеорологическом спутнике «Метеор-2» установлены комплексы аппаратуры для получения глобальной изображений облачности и подстилающей поверхности в видимом и инфракрасном диапазонах спектра (в режиме запоминания и непосредственной передачи ин-

Космический аппарат	Дата запуска	Параметры начальной орбиты			
		перигей, км	апогей, км	наклонение, град	период обращения, мин
«Космос-1269»	7.V	797	833	74	100,9
«Союз-40»	14.V	260*	307	51,6	90,1
«Метеор-2»	15.V	868	904	81,3	102,5
«Космос-1270»	18.V	180	370	64,9	89,7
«Космос-1271»	19.V	628	670	81,2	97,5
«Космос-1272»	21.V	217	403	70,4	90,4
«Космос-1273»	22.V	221	277	82,3	89,2
«Космос-1274»	3.VI	183	380	67,2	89,8
«Космос-1275»	4.VI	983	1 026	83	104,9
«Молния-3»	9.VI	471	40 837	62,8	736
«Космос-1276»	16.VI	224	265	82,3	89,1
«Космос-1277»	17.VI	216	393	70,4	90,3
«Космос-1278»	19.VI	614	40 165	62,8	726
«Молния-1»	24.VI	645	40 640	62,8	736
«Экран»	26.VI	35 636	35 636	0,4	1 426

* Параметры орбиты после коррекции.

формации), радиометрическая аппаратура для непрерывных наблюдений за потоками проникающих излучений в околоземном космическом пространстве.

Очередные спутники связи «Молния-1 и -3» предназначены для эксплуатации системы дальней телефонно-телеграфной радиосвязи и передачи программ Центрального телевидения СССР на пункты сети «Орбита» и в рамках международного сотрудничества.

Очередной спутник телевизионного вещания «Экран» запущен на близкую к стационарной круговую орбиту и оборудован ретрансляционной аппаратурой, обеспечивающей передачу в дециметровом диапазоне волн программ Центрального телевидения СССР на сеть приемных устройств коллективного пользования.

Продолжает функционировать орбитальная научная станция «Салют-6». 19 июня 1981 г. в 10 ч 52 мин московского времени была осуществлена стыковка станции со спутником «Космос-1267», выведенным на околоземную орбиту 25 апреля

1981 г. «Космос-1267» предназначен для испытания систем и элементов конструкции перспективных космических аппаратов и отработки методов сборки орбитальных комплексов больших габаритов и масс.

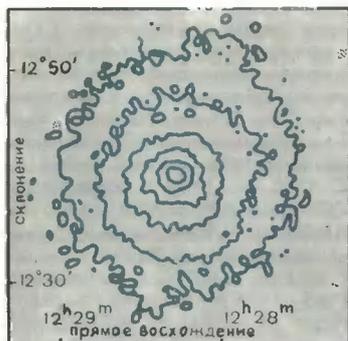
Астрофизика

Рентгеновское гало во-круг галактики М 87

Гигантская эллиптическая галактика Мессье 87 (она же — мощный источник радиоизлучения Дева А) известна активностью своего ядра. Из него вылетают струйки релятивистской плазмы; судя по спектральным и фотометрическим измерениям, в ядре имеется массивный объект — черная дыра или чрезвычайно плотное звездное скопление.

Недавно с борта американской автоматической рентгеновской обсерватории «HEAO-2» получено изображение галактики М 87 и ее окрестностей в диапазоне энергий 0,1—4,5 кэВ с угловым разрешением 1,5'.

¹ О полете советско-румынского международного экипажа см.: Природа, 1981, № 7, с. 103.



Карта распределения поверхностной яркости рентгеновского излучения в центральной части галактики М 87. Переход между линиями соответствует изменению поверхностной яркости в два раза. Наблюдаемое излучение связано с горячим газом, образующим вокруг галактики сферическое гало диаметром порядка 400 килопарсек.

Мощность рентгеновского излучения от галактики М 87 $2 \cdot 10^{43}$ эрг/с, температура горячего газа $\sim 2,6$ кэВ, а его полная масса $\sim 10^{12}$ масс Солнца. Расчет показывает, что газ с такой температурой и массой не может находиться в состоянии гидростатического равновесия лишь под действием собственного тяготения; не может удержать его и светящееся тело галактики. Чтобы объяснить наблюдаемое распределение плотности газа, необходимо предположить, что вокруг М 87 существует массивное гало из какого-то темного материала (возможно, это карликовые звезды), удерживающее своим притяжением горячий газ. Вычисленная на основе рентгеновского изображения масса гало в десятки раз превосходит массу центральной, светящейся части галактики и составляет $\sim 3 \cdot 10^{13}$ масс Солнца.

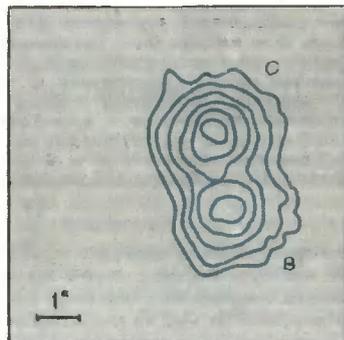
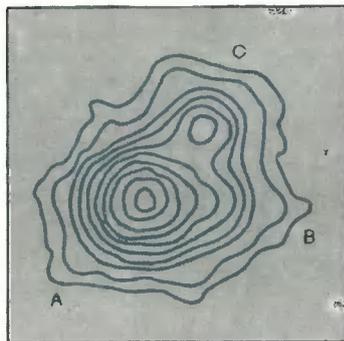
Обнаружить периферийные части гало пока не позволяет чувствительность рентгеновской аппаратуры, но, по мнению специалистов, оно простирается на 800 килопарсек от центра галактики и имеет полную массу $\sim 10^{14}$ масс Солнца. Для земного наблюдателя угловой диаметр этого гало на небе в 9 раз больше диаметра полной Луны.

Тройной квазар — эффект гравитационной линзы!

В 1980 г. группа американских астрономов¹ обнаружила, что изображение квазара Q 1115+080 в действительности состоит из трех близких компонент. Подробным исследованием этого объекта занялась другая группа американских астрономов², проводящих наблюдения на 5-метровом рефлекторе Паломарской обсерватории. Оказалось, что три изображения квазара разделены промежутками в $2''$ и имеют яркость 16,30 (изображение А), 18,64 (В) и 18,17 (С) звездных величин.

Спектры всех изображений чрезвычайно схожи между собой, и, главное, во всех линии излучения имеют совершенно одинаковое красное смещение, т. е. эти объекты действительно находятся близко друг от друга. Однако столь близкое соседство в пространстве трех похожих друг на друга квазаров — практически совершенно невероятное событие, так как обычно они находятся друг от друга на огромных расстояниях. Судя по всему, астрономы столкнулись с явлением гравитационной фокусировки света и наблюдают три изображения одного и того же квазара.

Возможность такого эффекта была предсказана давно: если на пути от квазара до Земли расположено какое-нибудь массивное тело, например далекая галактика, то лучи света от квазара отклонятся от своего прямолинейного пути и, попав в телескоп, могут создать несколько изображений одного квазара. Количество, форма и положение изображений на фотопластинке



Изображение «тройного» квазара (вверху). Изображение слабых компонент С и В после вычитания яркой компоненты А (внизу).

зависят от формы массивного тела (его обычно называют гравитационной линзой) и его расположения на небе относительно квазара.

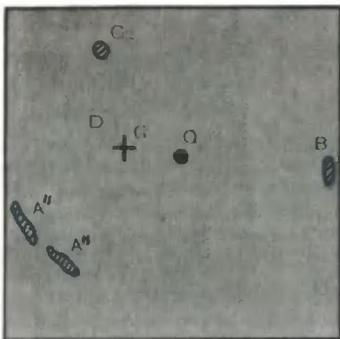
Впервые о наблюдении гравитационной фокусировки заговорили в 1978 г., когда обнаружили два изображения у квазара Q 0957+561: оба изображения имели примерно одинаковую яркость и были расположены на расстоянии $\sim 6''$ друг от друга³.

Теперь открыт «тройной квазар», причем расчеты показывают, что, по-видимому, мы имеем дело даже не с тремя, а с пятью изображениями одного квазара: два видны раздельно (В и С), третье и четвертое (А' и А'') расположены так близко друг от друга, что сливаются в одно яркое изображение А, а пятое (D) оказалось слишком слабым для обнаружения. Такую сложную картину

¹ Weymann R. J., Latham D., Angel J. R. P., Green R. F., Liebert J. W., Turnshek D. A., Turnshek D. E., Tyson J. A. — Nature, 1980, v. 285, p. 641.

² Young P., Devore R. S., Gunn J. F., Westphal J. A., Kristian J. — Astroph. J., 1981, v. 244, № 3, part 1, p. 723.

³ Природа, 1980, № 10, с. 107.



Теоретическая картина расположения изображений «стройного» квазара. Q — квазар; G — массивная галактика, играющая роль гравитационной линзы; изображения A и A' сливаются при наблюдении в одно яркое изображение A, а слабое изображение D недоступно для наблюдения в телескоп; C и B — остальные изображения квазара.

распространения световых лучей от квазара могла создать массивная спиральная галактика, находящаяся от нас на расстоянии нескольких миллиардов световых лет. Обнаружить ее на таком расстоянии будет очень трудно даже с помощью самых крупных телескопов.

Как проверить гипотезу о гравитационной линзе? Известно, что большинство квазаров переменны в оптическом диапазоне. Если длительное время фиксировать изменение яркости каждого отдельного изображения у «двойного» или «тройного» квазара, то эффект гравитационной фокусировки должен проявиться в небольшом запаздывании изменения яркости одних изображений квазара по отношению к другим: ведь лучи света, создающие каждое изображение, движутся по своим путям в пространстве, время распространения по которым может различаться на несколько месяцев. Если наблюдения подтвердят, что отдельные изображения квазара «мигают» синхронно с некоторой относительной задержкой во времени, то отпадут всякие сомнения в том, что астрономы обнаружили гравитационную линзу.

В. Г. Сурдин,
кандидат
физико-математических наук
Москва



Антропогенные изменения атмосферы Земли

В последнее время многие советские и зарубежные специалисты занимаются анализом состояния атмосферы Земли, которая существенно изменилась по сравнению с первичной в результате антропогенной деятельности. Вот некоторые результаты этих исследований.

Первичная атмосфера не содержала свободного кислорода и состояла в основном из паров воды, углекислого газа, метана, аммиака и сероводорода. Как считает ряд исследователей, первый кислород в атмосфере появился 2,2 млрд лет назад в результате жизнедеятельности простейших водорослей. Около 600 млн лет назад содержание O_2 составляло 1% от сегодняшнего; была достигнута так называемая точка Пастера, и организмы перешли к открытому дыханию как наиболее эффективному способу окисления. Сейчас годовое «производство» O_2 составляет 100—150 млрд т, и все это тратится на дыхание живых организмов, окисление горных пород и различных видов топлива при его сжигании.

Одновременно с ростом содержания кислорода в атмосфере уменьшалась концентрация CO_2 в результате потребления при фотосинтезе и растворения в воде океана. Поскольку молекулы CO_2 (а также NH_3 и H_2O) сильно поглощают инфракрасное тепловое излучение Земли (с длиной волны больше 1,5 мкм), то температура атмосферы в значительной мере определяется концентрацией углекислого газа (так называемый «парниковый эффект»). Около 350 млн лет назад содержание CO_2 доходило до 0,4 об.%, а средняя температура на поверхности Земли была почти на 10° выше современной. С уменьшением количества CO_2 температура падала, и в 1979 г. составила $14^\circ C$ при содержании CO_2 около 0,033 об. %.

В настоящее время человек усиленно восстанавливает «парниковый эффект», сжигая

огромные количества топлива (при этом выделяется CO_2). Кроме того, уничтожая леса, человек уменьшает подачу кислорода в атмосферу и поглощение CO_2 . В результате, суммарная концентрация CO_2 ежегодно увеличивается на 2,2 млрд т. С 1850 по 1978 г. количество CO_2 в атмосфере возросло с 0,027 до 0,033%, причем только за последние 20 лет прирост составил 0,002%. За период 1965—1975 гг. средняя температура атмосферы увеличилась на $0,2^\circ C$, что произошло на 20 лет раньше предполагавшейся даты.

Если скорость поступления CO_2 в атмосферу сохранится на нынешнем уровне, то по разным оценкам, его концентрация в 2000 г. достигнет 0,04—0,050%. Это приведет к устойчивому повышению средней температуры на $1^\circ C$, и атмосфера перейдет к тепло-влажному режиму, существовавшему около 8 тыс. лет назад. Уровень океана поднимется на 1,5 м, Венеция окажется под водой, а Ленинград станет «балтийской Венецией». Происходящее сейчас глобальное потепление привело к уменьшению на 1 м за последние 100 лет толщины ледяных льдов в Арктике, в среднем 10-км отступлению на север границы вечной мерзлоты, в росте в летнее время температурного градиента в направлении «экватор — полюс». В результате усилилась меридиональная циркуляция потоков в атмосфере и океане, что, в свою очередь, привело к изменению установившихся маршрутов циклонов и антициклонов и к неустойчивой погоде. Если скорость поступления CO_2 в атмосферу не уменьшится в течение 100 лет, его количество удвоится к 2050 г.; температура в средних широтах поднимется на $2—3^\circ C$, в приполярных областях — на $5—10^\circ C$. Это приведет к необратимому и неуправляемому таянию полярных льдов, которое будет продолжаться 1000 лет. В результате уровень океана повысится на 65 м и будет затоплено 10% суши.

Промышленное производство сопровождается загрязнением атмосферы также окислами серы и азота. В итоге кислотность осадков увеличивается,

что отражается в падении pH¹ воды. Так, pH дождевой воды в ряде районов Норвегии, Швеции, США и Канады меньше 4,5. Образно выражаясь, там идут дожди из серной и азотной кислот. Вода 1500 озер Норвегии имеет pH ~ 4,3 и в 70% из них нет рыбы.

В СССР, в Приокско-Террасном заповеднике pH атмосферных осадков за период 1975—1978 гг. упал² с 6 до 5—4,5.

По материалам: Монин А. С. Популярная история Земли. М.: Наука, 1980; Сватков Н. М. Земное зеркало Солнца (очерк истории палеотемпературы Земли). М.: Мысль 1979; The global 2000 Report to the President. Washington, 1980, v. 1 (США).

Физика

Лазер в атмосфере Марса

В атмосфере Марса работает лазер с солнечной накачкой — к такому выводу пришли М. Мумма, Д. Буль, Г. Чин, Д. Деминг, Ф. Эспенак, Т. Костюк (Центр космических полетов им. Годдарда, США) и Д. Зипой (Мериллендский университет, США). Стимулированное (лазерное) излучение на длинах волн 9,4 и 10,4 мкм было обнаружено в верхних (75—90 км) слоях атмосферы Марса. Интенсивность этого излучения в 10⁹ раз превосходит ту, которая должна была бы быть, если бы все молекулы атмосферного газа находились в термодинамическом равновесии при температуре 125 К. По мнению американских исследователей, солнечное излучение возбуждает молекулы СО₂ в атмосфере и создает инверсию населенностей, обеспечивающую стимулированное излучение.

Разумеется, стимулированное излучение носит не-

направленный характер, ибо отсутствует резонатор, который мог бы создавать обратную связь и коллимировать излучение (как это имеет место в обычных лазерах). По мнению руководителя группы М. Муммы, такой резонатор можно создать, расположив зеркала на двух спутниках, вращающихся по орбите синхронно с Марсом; тогда солнечная энергия может быть «извлечена» из атмосферы Марса и использована.

Это первое свидетельство существования естественного усиления в оптическом диапазоне, тогда как «астрономические» лазеры уже известны¹. М. Мумма предполагает обнаружить «лазерный эффект» и на других планетах Солнечной системы. Так, аномально яркое свечение полюсов Юпитера, например, наводит на мысль о существовании там лазера на аммиаке, равно как и северное сияние, дающее интенсивное излучение с длиной волны 4,5 мкм, которое тоже может быть, по крайней мере частично, стимулированным.

Следует отметить, что излучение атмосферы Марса на длине волны 9,4 и 10,4 мкм впервые было обнаружено одним из создателей лазеров Ч. Таунсом в 1973 г., однако он не идентифицировал это излучение как лазерное. Успех группы М. Мумма объясняется значительным улучшением с тех пор качества регистрирующей аппаратуры, в частности созданием гетеродинных приемников света.

Возможность генерации в атмосферах планет лазерного излучения существенно повышает шансы на успех при поисках планетных систем у удаленных звезд: отраженный или переизлученный планетами свет очень трудно отделить от значительно превосходящего его по интенсивности света центральной звезды; теперь же астрономы смогут вести поиск излучения на длине волны возможных планетарных лазеров, причем на

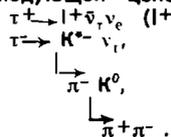
этих длинах волн планета — если только лазерный эффект имеет место — может оказаться ярче, чем центральная звезда.

Laser Focus, 1981, v. 17, № 3, p. 14—16 (США).

Физика

Наблюдение нового распада τ-лептона

Группа американских физиков обнаружила распад τ-лептона на нейтрино и отрицательно заряженный странный мезон K^{*-} — частицу с массой 892,2 МэВ и спином, равным единице. Измерена относительная вероятность этого канала распада: $B(\tau^- \rightarrow K^{*-} + \nu_\tau) = (1,7 \pm 0,7)\%$. Эксперименты проводились на встречных электрон-позитронных пучках «SPEAR» в Станфорде (США). В e⁺e⁻-соударениях рождались пары τ-лептонов, распадавшиеся затем по различным каналам. Искомый распад идентифицировался по следующей цепочке реакций:



Как видно, в конечном состоянии остается положительно заряженный лептон (позитрон или μ⁺-мезон) и три заряженных π-мезона, которые и регистрировались детектором. Всего наблюдалось 11 таких событий.

Тяжелый τ-лептон, открытый в 1975 г.¹, — третий представитель семейства лептонов после электрона и μ-мезона и отличается от них лишь существенно большей массой. Поз-

¹ Напомним, что pH=7 соответствует нейтральной среде, pH<7 — кислой, pH>7 — щелочной.

² Природа, 1981, № 1. с. 88.

¹ См., например: Варшавлович Д. А., Херсонский В. К. Молекулярная спектроскопия межзвездной среды. — Природа, 1980, № 12, с. 44.

¹ О тяжелых кварках и лептонах см.: Азимов Я. И., Хоэе В. А. Тяжелые кварки и лептоны. — Природа, 1979, № 5, с. 9.

тому для него возможны распады, запрещенные для других лептонов законом сохранения энергии. (Электрон стабилен; μ -мезон может распадаться лишь по каналу $\mu \rightarrow e \nu_\mu \bar{\nu}_e$. Это чисто лептонный процесс, адроны в нем не участвуют.) Примерно в 35% случаев τ -лептон распадается на электрон или μ -мезон с испусканием соответствующей пары нейтрино. Остальные 65% приходятся на различные распады с участием адронов; наблюдались распады τ -лептона на $\pi^- \nu_\tau$, $\rho^- \nu_\tau$, $\pi^+ \pi^- \nu_\tau$ и др.

Согласно теории электро-слабых взаимодействий², реакция $\tau \rightarrow \rho^- \nu_\tau$ происходит в несколько стадий. Вначале τ -лептон испускает промежуточный W^- -бозон, превращаясь в ν_τ . W^- -бозон распадается на пару кварков d и \bar{u} , которые образуют связанное состояние со спином 1 и массой 778 МэВ — частицу ρ^- -мезон³, входящую в девятку мезонов со спином 1. Этот процесс наблюдался в экспериментах; его относительная вероятность равна $(22 \pm 4)\%$.

Поскольку существует третий, странный кварк s , имеющий тот же электрический заряд, что и d -кварк, то вместо связанного состояния $d\bar{u}$ может образоваться аналогичное состояние $s\bar{u}$. Частица с таким кварковым составом и спином 1 входит в ту же девятку мезонов, что и ρ^- ; это и есть K^{*-} -мезон. Однако, несмотря на все сходство процессов $\tau \rightarrow \rho^- \nu_\tau$ и $\tau \rightarrow K^{*-} \nu_\tau$, последний происходит существенно реже первого, так как в слабом взаимодействии участвуют не сами d - и s -кварки, а их определенная смесь $d_c = d \cos \theta_c + s \sin \theta_c$, где θ_c — угол Каббиво. Можно сказать, что d_c -«кварк» с вероятностью $\sin^2 \theta_c$ выступает как s -кварк и с вероятностью $\cos^2 \theta_c$ — как d -кварк.

Таким образом, для вновь

обнаруженного распада τ -лептона теория предсказывает значение относительной вероятности $V(\tau \rightarrow K^{*-} \nu_\tau) = \text{tg}^2 \theta_c V(\tau \rightarrow \rho^- \nu_\tau)$. Экспериментально найдено, что $\theta_c = 13^\circ$, поэтому $V(\tau \rightarrow K^{*-} \nu_\tau) = (1,1 \pm 0,2)\%$. Малость угла Каббиво привела к существенному подавлению процесса $\tau \rightarrow K^{*-} \nu_\tau$ по сравнению с аналогичным процессом $\tau \rightarrow \rho^- \nu_\tau$. Измерение относительной вероятности подавленного процесса произведено впервые и находится в хорошем согласии с предсказаниями теории.

Physical Review Letters, 1981, v. 46, p. 215 (США).

Физика

Большое Красное Пятно Юпитера — солитон Россби!

Знаменитое Большое Красное Пятно Юпитера известно по крайней мере уже 300 лет. Природа этого образования давно интересует специалистов. Последние наблюдения, проведенные с помощью американских космических станций «Викинг», позволили установить, что Пятно представляет собой гигантский атмосферный вихрь, дрейфующий по параллели планеты на широте 22° против ее глобального вращения. Поперечный размер вихря 10—20 тыс. км, характерный период вращения вокруг собственной вертикальной оси — около недели, скорость дрейфа (на запад) порядка 3 м/с.

В. И. Петвиашвили (Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова) предложил модель, согласно которой Красное Пятно представляет собой антициклонический солитон Россби¹. От солитонной модели, разработанной американскими

специалистами², эта модель отличается простотой и, кроме того, тем, что ее легче экспериментально проверить.

Солитон Россби — нерасплывающийся пакет волн Россби, тех самых, которые определяют структуру крупных вихрей в океане и атмосфере Земли³ и аналогичны дрейфовым волнам в плазме. В атмосфере этот солитон выглядит как местное возвышение, вращающееся вокруг собственной оси, в котором избыток гидростатического давления в центре уравновешивается силой Кориолиса. Солитон движется без изменения формы. Согласно модели Петвиашвили, такой солитон представляет собой антициклон, так как циклон (т. е. лунка, вращающаяся в одном направлении с планетой) должен очень быстро расплываться; кроме того, он должен иметь вполне определенные размеры, зависящие от его высоты и динамических параметров Юпитера, а также перемещаться по параллели против глобального вращения планеты. Предполагается, что солитон поддерживается сдвигами атмосферными течениями — зональным ветром.

С. В. Антипов, М. В. Незлин, Е. Н. Снежкин и А. С. Трубников (Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова) на специально построенной установке провели экспериментальную проверку этой теории. Моделью атмосферы Юпитера в их опытах является тонкий (3—5 мм) слой воды, покрывавший поверхность параболического сосуда, который вращался вокруг вертикальной оси со скоростью 1,5—2 об/с. Сосуд такой формы был выбран для того, чтобы можно было получить слой вращающейся жидкости постоянной толщины, а в качестве рабочей жидкости использовалась вода, по-

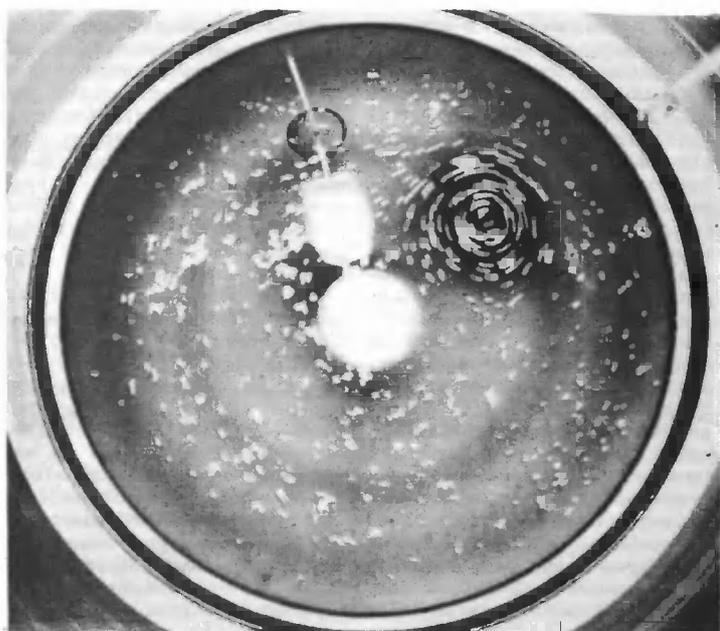
² Ансельм А. А. В поисках единой теории фундаментальных взаимодействий. — Природа, 1980, № 6, с. 9; № 7, с. 63.

³ О систематике адронов см.: Шахтер В. М. Кварки. — Природа, 1980, № 2, с. 53.

¹ Петвиашвили В. И. — Письма в ЖЭТФ, 1980, т. 32, вып. 11, с. 632.

² Maxworthy T., Redekopp L. G. — Icarus, 1976, v. 29, p. 261; Science, 1980, v. 210, p. 1350.

³ Подробнее об этом см., например: Монин А. С., Кошляков М. Н. Синоптические вихри, или волны Россби, в океане. Эксперимент и основы теории. — В сб.: Нелинейные волны. Горький: Наука, 1979, с. 258.



Фотография параболического сосуда с водой, вращающегося против часовой стрелки, в котором создавался солитон Россби (вид сверху). Для визуализации вихря (вверху, справа) на поверхности подкрашенной воды плавают белые частицы диаметром 1 мм. Солитон дрейфует против вращения сосуда. Вверху, слева видны «диск накачки» и микродвигатель. Снимок сделан спустя 3 с после выключения «диска накачки»; фотоаппарат вращался вместе с сосудом.

скольку она является простой средой с достаточно низкой вязкостью (излишняя вязкость сильно сократила бы время существования вихрей). В определенном участке вращающегося параболического слоя воды с помощью небольшого быстро крутящегося «диска накачки», включавшегося на короткое время, создавался антициклонический вихрь. Опыты показали, что после выключения «диска накачки» вихрь проявлял свойства, очень близкие к предсказываемым теорией свойствам солитона Россби: он имел примерно ожидаемые размеры, двигался по «широте» против вращения сосуда с приблизительно нужной скоростью и вращался вокруг собственной оси против вращения сосуда.

Вихрь не расплывался, т. е. имел характер уединенной волны — солитона; время его жизни было столь велико, что он успевал продрейфовать на расстояние порядка десяти собственных диаметров, чем принципиально отличался от классического (линейного) волнового пакета, который расплывается при перемещении всего на один собственный диаметр.

Это первые эксперименты, в которых создан солитон Россби. Обнаруженные в них свойства вихря Россби, легкость его создания, а также отсутствие циклонических солитонов Россби дают основания для поддержки теоретической модели Петвиашвили. Следует, однако, отметить, что хотя модель качественно согласуется с наблюдениями Юпитера, она имеет с ними значительные количественные расхождения: так, размер Пятна и, в особенности, скорость его дрейфа оказываются значительно меньшими, а характерная скорость собственного вращения — значительно большей, чем в теории. Но эти расхождения можно устранить, если модель Петвиашвили дополнить учетом волнового движения среды по вертикали солитона — Пятна.

Письма в ЖЭТФ, 1981, т. 33, вып. 7, с. 368—372; т. 34, вып. 2, с. 83—86.

Техника

Комплексная переработка морской воды

В филиале Института общей и неорганической химии АН УССР (Одесса) разработан метод получения удобрений из шлама, образующегося при опреснении морской воды и рассолов. Кристаллическое комплексное соединение — магниевый (кальций) аммонийфосфат (МКАФ) — содержит все необходимые растениям питательные элементы: азот, фосфор, магний, калий и микроэлементы. Оно труднорастворимо в воде, хорошо фильтруется, однородно, не слеживается при хранении.

Первая партия этого удобрения испытана при выращивании винограда. Результаты испытаний показали, что внесение МКАФ повысило урожайность винограда в среднем на 20% по сравнению с контрольными участками. Из-за слабой растворимости основное действие удобрения проявилось на втором году после внесения, т. е. МКАФ — длительно действующее удобрение.

Комплексное использование минерального сырья, 1980, № 2, с. 57—60

Физическая химия

Получение литых изделий из тугоплавких веществ

Многие соединения бора, углерода, кремния и азота с металлами обладают уникальными свойствами — твердостью, близкой к твердости алмаза, высокой износ- и коррозионной устойчивостью. Термостойкость этих соединений позволяет широко применять их в технике высоких температур, в газо-турбостроении, в космической технике, а химическая стойкость обуславливает использование их в химическом машиностроении и приборостроении для изготовления деталей агрегатов, работающих при высоких температурах в агрессивных

средах. Некоторые из веществ этого класса обладают полупроводниковыми свойствами и сверхпроводимостью. Однако широкое внедрение этих материалов в технику в значительной степени сдерживается трудностями их производства: зачастую для их обработки непригодны обычные механические методы, приходится прибегать к ультразвуковым или электронно-лучевым. Чтобы получить, например, из карбида изделие сложного профиля, его сначала изготавливают из легко обрабатываемого металла, а затем осуществляют диффузионное «науглероживание». Но такие методы не всегда обеспечивают высокое качество изделий.

В Институте химической физики АН СССР разработан новый метод, позволяющий из тугоплавких боридов, силицидов, карбидов и т. д. получать литые изделия практически произвольной формы. В основе метода лежит самораспространяющийся высокотемпературный химический синтез. Использование высококалорийных компонентов реакции, дающих высокие температуры в процессе синтеза (выше температур плавления конечных продуктов), позволяет провести процесс в условиях образования тугоплавких веществ в жидком состоянии.

Процесс состоит из двух основных стадий: металлотермической, когда металлы, например Al, Mg, Ti, Zr, восстанавливают окислы MoO_3 , CoO , TiO_2 , CrO_3 и др. с выделением металла, входящего затем в состав конечного продукта (Mo_2C , Cr_2C_2 , CrB_2 и др.), и собственно самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, в ходе которого из металла, образовавшегося в металлотермической стадии, получают конечный продукт, а также компонент реакции (C, B, Si, N₂, B₂O₃, SiO₂ и т. д.).

Синтез проводится в бомбах постоянного давления или в центрифугах. Высокодисперсные порошки исходных реагентов загружаются в тугоплавкие формы заданной конфигурации и сжигаются в среде аргона или азота при давлении 1—3500 атм. Синтез включает горение, фазоразделение, кристаллизацию и остывание конечных продук-

тов. Горение приводит к образованию расплавленных конечных продуктов и окислов металлов-восстановителя, например MgO , Al_2O_3 . Фазоразделение позволяет отделить в виде шлака окислы от целевого продукта. Было обнаружено, что эффективность фазоразделения зависит от размеров сосуда, в котором идет процесс: если диаметр сосуда меньше некоторого критического, система остывает быстрее, чем происходит фазоразделение; в результате получается расплавленная, но неразделенная смесь целевого продукта с окислами. Но если диаметр превышает критический, то время фазоотделения меньше, чем время тепловой релаксации продуктов. В этом случае при конвективном перемешивании идет постепенная агрегация капель тугоплавкого соединения в сплошной расплавленной массе окисла, приводящая к полному разделению шлаковой окисной и целевой фаз.

Меняя соотношение исходных реагентов и их дисперсность, можно получать литые соединения заданного фазового и химического состава с дефицитом металла или неметалла. Удалось получить тугоплавкие литые соединения с температурами плавления 3058 К (WC), 3073 К (WB), 2921 К (VC) и т. д. с высокой микротвердостью ~2000–2500 кг/мм² (Mo_2C , Mo_3C_2 , CrB_2 , MoB) и 2800 кг/мм² (VB₂).

Доклады АН СССР, 1980, т. 225, № 1, с. 120.

Молекулярная биология

Как регулируется образование рибосомных белков

Рибосома бактерий — сложно организованная макромолекулярная структура, состоящая из трех типов рибонуклеиновых кислот (23S, 16S и 5S РНК) и 52 рибосомных белков, каждый из которых (за исключением белка L7/L12) присутствует в количестве одной молекулы на рибосому. В нормально растущих клетках бакте-

рий компоненты рибосом в свободном виде вне рибосомы имеются в незначительных количествах. Это означает, что образование структурных компонентов рибосом строго скоординировано. Однако пока неясен молекулярный механизм, контролирующей синтез рибосомных компонентов в том соотношении, в каком они присутствуют в рибосоме.

М. Номура (Университет штата Висконсин, Медисон, США) предложил рабочую гипотезу того, как происходит регуляция синтеза рибосомных белков в клетках прокариот¹. В том случае, когда образование рибосом должно по каким-либо причинам снизиться, в клетках появляется небольшое количество свободных рибосомных белков, не включенных в состав рибосомы. Эти белки распознают соответствующую им информационную РНК и связываются с ней, предотвращая тем самым ее трансляцию и последующее образование этих рибосомных белков.

Гипотеза была экспериментально подтверждена (in vitro) для многих рибосомных белков.

Эксперименты, проведенные in vivo, также подтвердили гипотезу Номуры. Была сконструирована плазмида, несущая гены для рибосомных белков S8, L6 и L18; эти гены «застряли» активно работать. Возникшее в результате избыточное количество рибосомных белков подавляло не только синтез этих же рибосомных белков, но и других рибосомных белков, гены которых образуют один оперон (src оперон). В то же время образование рибосомных белков L14 и L24, гены которых локализованы в другом опероне, не изменялось.

Таким образом, эксперименты, проведенные М. Номурой с сотрудниками, подтвердили, что регуляция синтеза рибосомных белков происходит на уровне белкового синтеза, а не на уровне синтеза РНК (транскрипции). Хотя детальный механизм подавления синтеза рибосомных белков пока точно

¹ Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 1979, № 76, p. 3411.

неизвестен, открывается широкая возможность для исследования этого механизма методами молекулярной биологии, генетики и геной инженерии.

Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, 1980, № 77, p. 1831—1841 (США); Nature, 1981, v. 289, № 8, p. 89—91 (Великобритания)

Биохимия

Синтетическая вакцина против дифтерии

При проведении вакцинации часто наблюдается ряд нежелательных явлений: повышенные температуры, озноб, аллергия и пр. Объясняется это тем, что помимо реакций иммунной системы, строго направленных против инфекционных свойств возбудителя заболевания, возникают и другие иммунные реакции, связанные с присутствием в составе вакцин «балластных» веществ, без которых, однако, вакцины приготовить не удастся. Кроме того, почти каждый антиген содержит не одну, а несколько так называемых антигенных детерминант, т. е. участков в его структуре, против которых и вырабатываются антитела. Однако не все антигенные детерминанты ответственны за проявление болезнетворных свойств возбудителя болезни. Поэтому наилучшей по действию и наиболее безопасной была бы вакцина, не содержащая не только балластных веществ, но и лишних антигенных детерминант.

Сотрудники отдела экспериментальной иммунологии Па-

рижского института им. Л. Пастера синтезировали такую вакцину против дифтерии. Как известно, главным болезнетворным началом при этом заболевании является не сам микроб — возбудитель дифтерии, а вырабатываемый им токсин. Он представляет собой полипептидную цепь, отдельные участки которой связаны друг с другом дисульфидными мостиками, и имеет молекулярный вес 62000 Д. Не все участки полипептидной цепи ответственны за проявление токсических свойств. Французским исследователям удалось синтезировать участок этой цепи, состоящий из 14 аминокислот.

Этот тетрадекапептид был затем химически соединен с помощью глутаральдегида с бычьим сывороточным альбумином (одним из белков бычьей крови), и полученный комплекс использовался для иммунизации морских свинок. Оказалось, что такая иммунизация защищала животных от действия токсина.

Полученные результаты представляют собой первую успешную попытку иммунизации против бактериального токсина с помощью синтетического антигена. Используемые методы могут быть распространены и на борьбу с другими бактериальными токсинами.

Nature, 1981, v. 289, № 5798, p. 593—594 (Великобритания).

Цитология

Необычная внутриклеточная структура у простейших

Американские биологи из Университета штата Колорадо обнаружили у паразитического жгутиконосца *Leptomonas collosoma*, относящегося к семейству трипаносомид, необычную внутриклеточную структуру — мембранную решетку.

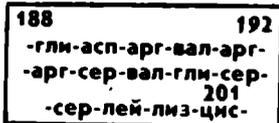
Одна или, в редких случаях, две мембранные решетки, которые представляют собой разветвляющиеся ряды гладких мембранных трубочек, обычно располагаются между ядром и сократительной вакуолью на переднем конце клетки, несущем

жгутик. Отдельные трубочки имеют диаметр 40—50 нм. На их поверхности наблюдаются погруженные внутрь мембран частицы диаметром 7,5—10 нм. Мембранные решетки часто окружены мембранами шероховатого эндоплазматического ретикула. Отмечена также связь с мембранами ядерной оболочки. Расположение частиц на мембранах решетки, эндоплазматического ретикула и ядерной оболочки сходно. О родстве мембран решетки, эндоплазматического ретикула и ядерной оболочки свидетельствует также их одинаковое окрашивание при обработке клеток солями свинца, в то время как другие мембраны при этом не окрашиваются.

Как показали наблюдения, мембранные решетки — не постоянный внутриклеточный компонент трипаносомид. Их наличие зависит от осмотических условий внешней среды: при высоком осмотическом давлении они наблюдаются практически у всех особей, а при низком — отсутствуют. Мембранные решетки не могут быть артефактом химической фиксации клеток, осуществляемой перед получением ультратонких срезов для просвечивающей электронной микроскопии, поскольку они наблюдаются также и в растворе электронном микроскопе на сколах не фиксированных, а быстро замороженных трипаносомид.

Исследователи считают, что обнаруженные ими структуры являются внутриклеточной органеллой. Однако функции этой новой органеллы пока неизвестны. Они предполагают, что, во-первых, эти мембранные решетки могут служить запасными мембранами (аналогично проламеллярным телам у выращиваемых в темноте хлоропластов растений), а во-вторых, эти решетки могут участвовать в процессах секреции и выделения веществ из клетки. Сходные структуры, являющиеся производными мембран эндоплазматического ретикула, отмечались ранее другими исследователями в специализированных секреторных клетках в железах у рыб и в нектарниках у растений.

Journal of Ultrastructure Research, 1980, v. 72, № 2, p. 200—205 (США).



Формула синтезированного тетрадекапептида дифтерийного токсина, использованная для иммунизации против дифтерии. Здесь гли — глицин, асп — аспарагиновая кислота, арг — аргинин, вал — валин, сер — серин, лей — лейцин, лиз — лизин и цис — цистеин.

Психология

Кормление грудью и умственные способности девочек

Французский психолог Н. Бон (Научно-исследовательский центр профилактической медицины, Нанси), обследовав около 1000 детей в возрасте 6—9 лет, нашел, что в этом возрасте умственные способности девочек, которых кормили грудью 1—2 месяца, выше, чем у тех, кого кормили менее 0,5 месяца или не кормили совсем; дальнейшее увеличение продолжительности грудного вскармливания не влияет на умственные способности. У мальчиков подобной зависимости не обнаружено.

Пытаясь объяснить этот факт, автор отверг как физиологическую гипотезу (женское молоко содержит вещества, способствующие более успешному созреванию нервной системы, нежели препараты для искусственного вскармливания), так и социо-экономическую (продолжительность кормления грудью связана с материальным и образовательным уровнем семьи, что, в свою очередь, влияет на развитие умственных способностей ребенка) — обе эти гипотезы не могут объяснить, почему обнаруженная зависимость ограничена женским полом. Предложенная автором психологическая гипотеза основана на многочисленных наблюдениях, говорящих о том, что женщины, желающие кормить грудью своих детей, в целом отличаются «большей женственностью»; в частности, они менее тревожны и менее агрессивны, более сексуальны, лучше относятся к детям и т. д. Естественно, что у таких матерей устанавливается более тесный эмоциональный контакт с ребенком. В дальнейшем девочки строят свое поведение по примеру матери; предполагается, что более тесный эмоциональный контакт с матерью у девочек, которых кормили грудью, ведет к более высокой степени подражания, что, в свою очередь, способствует лучшему развитию их умственных способностей

по сравнению с теми, которых не кормили грудью и чьи эмоциональные отношения с матерью более холодны. Для мальчиков объектом подражания является отец, поэтому эмоциональная близость с матерью не влияет на их умственное развитие.

Bulletin de Psychologie, 1980, v. XXXIII, p. 935 (Франция).

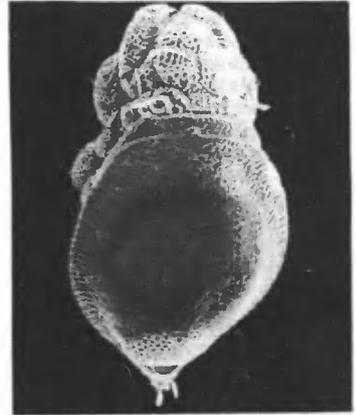
Зоология

Реликт раннего голоцена в микрофауне почв

Во время почвенно-зоологических исследований в средней тайге Коми АССР — на полюсе холода материковой Европы — нам удалось собрать 66 видов панцирных клещей, ранее здесь не известных. Подавляющая часть этой микрофауны — обычные обитатели гумидных районов Палеарктики, но некоторые находки оказались неожиданными и представляют несомненный фаунистический интерес.

К ним относится *Diapterobates variabilis* Hammer — вид, описанный на Аляске и ранее обнаруженный у нас в некоторых местах Сибири. Но главное — новый вид *Passalozetes stellatus* Mikhailova (см. третью страницу обложки) из семейства *Passalozetidae*, представители которого до сих пор не встречались нигде в лесной зоне нашей страны. Это типичный представитель рода *Passalozetes*, который обычен в Средиземноморье, Средней Азии, северной Африке, а в Европейской части СССР обитает только в Крыму, полупустынях и степях юга, не доходя до типичной лесостепи. В области широколиственных лесов Европы самые северные находки *Passalozetes* были обнаружены лишь на отдельных участках наиболее прогреваемых остепненных ландшафтов в Австрии и ЧССР.

Популяция *P. stellatus*, найденная нами в районе пос. Яреги Ухтинского района, — несомненно реликтовая, сохранившаяся на севере Европы в очень холодных зимой, но сильно прогреваемых летом среднетаежных



Клещ *Neoliodes farinosus* C. L. Koch.



Нимфа *Eremaeus qblonqus* C. L. Koch

лесах. Можно предполагать, что это реликт boreального периода голоцена (9,2—7,8 тыс. лет назад), который в восточных районах СССР рассматривают как время климатического оптимума и весьма существенного потепления. На Северо-Востоке СССР среди энтомофауны тогда обитали многие криоксеротермические формы — остатки элементов степных ценозов, господствовавших здесь в позднем плейстоцене. На нынешней территории Коми АССР, насколько известно, в boreальное время преобладали светлохвойные и березовые леса, климат был суше и теплее современного и сюда могли проникнуть ксеротерм-

ные формы с востока, из-за Урала. Для подобного предположения есть и еще одно основание: среди ископаемых остатков борзального времени (9 тыс. лет назад) южной Финляндии Э. Карппинен также нашел вид рода *Passalozetes*, который, правда, он определил неверно и который, на наш взгляд, должен быть выделен в самостоятельный новый вид *Passalozetes karppinini* Mikhaltzova. В настоящее время представители рода *Passalozetes* не встречаются ни в Финляндии, ни на сопредельных с нею территориях с более теплым климатом. Наши наблюдения показывают, что данные по панцирным клещам можно и нужно шире привлекать при обсуждении вопросов формирования фауны.

В Коми АССР найдены формы, которые представляют и чисто натуралистический интерес. Вот так выглядят клещи *Neoliodes farinosus* и нимфальные стадии (тритонимфа) очень обычного в СССР виде *Eremaeus oblongus* (ранее не обращали внимания, что эти нимфы носят на себе личиночные шкурки предшествующих стадий развития). Фотографии этих видов публикуются впервые.

З. А. Михальцова

Д. А. Кривоуцкий,

доктор биологических наук

Институт эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова АН СССР

Зоология

Зубная «расческа» полуобезьян

У многих животных, относящихся к подотряду полуобезьян — лори, галаго, лемуру, — на нижней челюсти имеется нечто вроде гребенки, назначение которой вызывает разногласия среди зоологов. Предположения, что она используется для расчесывания шерсти или для соскребания съедобной коры с деревьев, оставались недоказанными. Для изучения этого вопроса американские исследователи К. Роуз, А. Уокер (Университет им. Дж. Гопкинса) и Л. Джейкобс (Североарizonский музей) применили скани-

рующую электронную микроскопию.

«Расческа» полуобезьян образована из нижнего резца и клыка — они длинные, тонкие и выступают вперед в форме ложки. Под микроскопом видно, что резец галаго испещрен мельчайшими (шириной 10—20 мкм) вертикальными бороздками, причем между ними заметны еще более мелкие «риски». Исследователи считают, что эти углубления — результат регулярного протягивания волос животного между зубами.

Впервые электронномикроскопическому сканированию были подвергнуты и зубы ископаемого лори, останки которого недавно были найдены в Пакистане. На его зубах тоже обнаружены бороздки, аналогичные тем, что наблюдаются у ныне живущих полуобезьян. В настоящее время лори в Пакистане не встречаются (их ареал — тропические леса Юго-Восточной Азии), найденные же останки говорят о близком родстве ископаемого животного с современным нам видом — медленным толстым лори (*Nycticebus coucang*). Подчеркивая такое родство, ископаемому животному присвоили имя *Nycticeboides simpsoni*.

Палеонтологи указывают, что в эволюционном отношении зубной «расческа» полуобезьян предшествовал сходный орган у кондилартр (*Condylarthra*) — предков копытных, которые жили в Северной Америке в палеоцене и эоцене (65—36 млн лет назад). У этих животных «расческа» была образована сращением шести нижних резцов и, судя по характеру износа зубов, тоже, очевидно, служила для ухода за волосным покровом.

Сложный «гребень», аналогичный «расческе», имеется и у лесных древесных животных — шерстокрылов (*Dermoptera*). Однако, по мнению исследователей, у него другое назначение. «Гребень» состоит из четырех нижних резцов, каждый из которых превратился в отдельный гребешок, насчитывающий до 15 зубцов. Ни на одном из резцов у существующих ныне двух видов шерстокрылов бороздчатых следов, подобных описанным выше, обнаружено

не было. В зоологических описаниях этих животных также нет упоминаний о том, чтобы они расчесывали свою шерсть зубами. Остается предположить, что шерстокрылы, питающиеся в основном листьями, цветами и фруктами, используют свой «гребень» для сбора пищи. *Nature*, 1981, v. 29, p. 583, 585 (Великобритания).



Зоология

Насекомое с ядовитым газом

Энтомологи Дж. Джонсон и К. С. Хаген (Калифорнийский университет в Беркли, США) два года изучали жизненные циклы и поведение мотылька *Lomatia lappirennis*. Его личинки поселяются в гнездах термитов *Reticulitermes hesperus* внутри гниющих древесных стволов. Обычно хозяева термитника не нападают на личинок, хотя и значительно превосходят их по размеру.

Исследователи неоднократно наблюдали, как покрытая щетинками личинка поворачивалась к термитам задней частью туловища и начинала размахивать задними лапками, после чего всякий раз ближайше к личинке термиты падали на спину парализованными. Чаще всего личинка поедала жертву; в любом случае пораженный термит вскоре умирал. Было установлено, что оружием личинки является газообразное химическое вещество — «агрессивный алломон». Он настолько ядовит, что крупная личинка может за один раз убить до шести термитов. Действие «агрессивного алломона» довольно длительное: даже после устранения личинки этот газ еще некоторое время может обездвиживать термитов, попавших в его атмосферу.

Ядовитый газ обладает значительной избирательностью: он не действует на личинок других насекомых, на мух и ос. Это качество весьма существенно: если удастся выделить и определить химический состав «агрессивного алломона»

(а такие работы уже ведутся), то, вполне вероятно, с его помощью можно будет бороться с термитами, наносящими огромный ущерб экономике многих африканских, азиатских и латиноамериканских стран.

Nature, 1981, v. 289, № 5797, p. 509
(Великобритания).

Ботаника

Опыление растений грызунами в Западном полушарии

Уже довольно давно известно, что не только летучие мыши, но и нелетающие млекопитающие: опоссумы, мелкие сумчатые и грызуны в Австралии, лемуры на о-ве Мадагаскар и мелкие грызуны в Африке — могут служить основными опылителями некоторых видов растений. Однако это явление еще недостаточно изучено; что же касается стран Западного полушария, то подобного способа опыления там вообще не было отмечено. Тем больший интерес вызывает открытие, сделанное аспиранткой Нью-Йоркского ботанического сада С. Люмер в влажном тропическом лесу в Коста-Рике.

Большинство видов распространенного там растения из семейства Melastomaceae обладает яркими (белыми, розовыми или красными) открытыми цветками, которые опыляются пчелами. Лишь один недавно обнаруженный вид *Blakea* имеет блеклые зеленоватые цветки колоколообразной формы, свисающие вниз. Они открываются ночью и остаются открытыми в течение двух суток. Хотя цветки и выделяют нектар, пчелы или какие-либо животные в светлое время суток посещают их крайне редко. Это растение — эпифит, т. е. поселяется не на земле, а на других растениях, на высоте до 10 м над землей.

Ночные наблюдения, выполненные Люмер при красном свете, чтобы не вспугнуть животных, и фотографирование позволили установить, что цветки этого растения опыляют древесная мышь (*Peromyscus nudipes*), рисовая крыса (*Oryzomys*

albigularies) и еще какой-то третий грызун, которого пока не удалось отловить и идентифицировать.

Smithsonian Institution SEAN (Scientific Event Alert Network) Bulletin, 1980, v. 5, № 6, p. 14—15 (США).

Экология

Растение защищается

Известно, что высшее растение, подвергнувшееся нападению растительноядного насекомого или инфекционного микроорганизма, может выделять химические вещества, защищающие его от вредителя. Однако до сих пор считалось, что для возникновения защитного эффекта растению требуются многие часы, а в отдельных случаях — даже годы. Ныне Р. Керролл и К. А. Хофманн (Университет штата Нью-Йорк, США) установили, что произрастающие в Мексике тыквенные растения (*Cucurbita moschata*) могут доставлять прекращающий деятельность насекомых химический ингибитор к месту их нападения всего за 40 мин. Эксперименты ставились на божьих коровках, которые спустя это короткое время всегда покидали поврежденное ими место листа, а будучи возвращены обратно, отказывались там кормиться.

Попутно исследователи отметили интересную приспособительную особенность божьих коровок: до начала кормежки они прогрызали в листе тыквы кольцеобразное углубление, сохраняя нетронутыми лишь несколько жилок и немного ткани, чтобы «кольцованная» часть листа осталась на месте. На это у насекомого уходило около 10 мин, т. е. много меньше, чем необходимо растению для доставки сюда ингибитора.

Было замечено также, что по окончании кормежки на одном участке растения божьи коровки перемещаются всегда на расстояние в среднем около 6 м, где вновь приступают к еде. Можно полагать, что они покидают те участки, где содержание ингибитора в ткани растения нежелательно высоко.

Так как подобные перемещения наблюдались и у других видов растительноядных насекомых, исследователи полагают, что им, как и божьей коровке, тоже присущ описанный метод обхода защитного барьера растений.

The Sciences, 1980, v. 20, № 9, p. 5 (США).

Экология

Экосистема кораллового рифа в лаборатории

Впервые попытка содержать в искусственных условиях весь комплекс экосистемы кораллового рифа удалась после нескольких лет экспериментов и полевых исследований У. Х. Ади (Смитсоновский институт в Вашингтоне, США).

Коралловый риф весом более 3 т с многочисленными его обитателями (свыше 200 видов растений и животных) был осторожно изъят из естественной среды в Карибском море и доставлен в специально сооруженный бассейн при Музее естественной истории Смитсоновского института. Коралловая постройка представляет собой стенку высотой около 2 м, длиной 4 м и шириной 1,2 м, причем со стороны, обращенной «к морю», она обрывается крутым уступом, а с «сухопутной» имеет более пологие очертания. Объем бассейна, в который поместили риф, ~11,5 тыс. л. В нем воспроизведены естественные условия Карибского моря: включаемые над водой в определенной последовательности галонные лампы имитируют времена суток от восхода и яркого полдневного света тропиков до быстро, почти без сумерек, наступающей темноты; искусственно генерируемые волны и течения омывают риф, активизируя циркуляцию кислорода и питательных веществ; временами в бассейн подается некоторое количество дистиллированной воды, удерживающей заданный уровень солености; каждые 5 мин запускается немного морских креветок и планктонных организмов (обычно регулярно поступающих в

История науки

Музей П. Ф. Рокицкого

22 мая с. г. на родине выдающегося советского биолога и генетика академика БССР Петра Фомича Рокицкого (1903—1977) в пос. Криничном, Мозырского района, Гомельской области, в здании Полесской

но отставал передовое научное мировоззрение на страницах как сугубо научных изданий, так и философских и научно-популярных журналов, в особенности в «Природе» — детище его любимого учителя Н. К. Кольцова.

Музей П. Ф. Рокицкого выставленным в нем научными трудами, популярными и философскими статьями, всем набором экспонатов, любовно соб-

окрестности рифа из открытого океана). К бассейну пристроено подобие морской лагуны объемом около 2 тыс. л. По соединенным с основной частью бассейна трубам большого диаметра, открытым ночью, рыба переходит сюда, чтобы кормиться мелкими ракообразными, в изобилии водящимися на морской траве «лагуны». К бассейну подключено еще несколько отдельных ванн с морской водой. Наблюдения показали, что такая система убежищ способствует разнообразию экологических условий.

Всестороннее исследование экосистемы живого рифа ведется в лаборатории, здание которой возведено рядом с бассейном. Группа Ади обнаружила, что сине-зеленые, зеленые, коричневые и красные водоросли, входящие в экологическую систему рифа, обладают во много раз большей биологической продуктивностью, чем считали до сих пор. Однако такая интенсивность жизненных процессов наблюдается лишь при определенной комбинации освещения, течений, силы волн и т. п. (излишне сильные волны, например, смывают осадочные продукты с поверхности водных растений, препятствуя образованию частично «застойного» слоя воды). Водоросли — главный фактор, определяющий химический состав среды кораллового рифа. Водорослевые «полянки» активно поглощают лучистую энергию Солнца; используя отходы жизнедеятельности других организмов, водоросли растут, выделяя кислород и поставляя питание животным, населяющим риф. Исследователи считают, что коралловое сообщество является наиболее совершенной из всех известных естественных систем усвоения энергии Солнца.

В качестве «побочного продукта» исследований группа Ади разработала проект «Океанская ферма», предусматривающий сооружение в тропических районах моря плавучих платформ, на которых культивируются водоросли. Их урожай будет доставляться затем на берег для производства спирта или метана.



Здание, в котором размещен Музей П. Ф. Рокицкого.

Фото И. И. Ломановича.

сельскохозяйственной опытной станции, стоящей на улице, которая носит имя Рокицкого, открыт мемориальный музей. Задумали создать музей учителя и учащиеся местной средней школы. Их начинание поддержали РК КПСС, Полесская опытная станция, Академия наук БССР.

Помимо больших заслуг в науке¹, П. Ф. Рокицкий немало сделал для ее пропаганды и популяризации, а в последние годы своей жизни особенно страст-

ными школьниками, друзьями, учениками и последователями, как бы продолжает дело Рокицкого и служит залогом появления на его родине достойных последователей.

В. И. Рылушкин,
кандидат сельскохозяйственных наук,

ученый секретарь Полесской опытной сельскохозяйственной станции, председатель Организационного комитета по созданию музея П. Ф. Рокицкого.

Океанология

Геоморфология дна Филиппинского моря

Г. В. Агапова, А. В. Беляев, А. В. Перевозчиков (Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР), М. В. Руденко (Институт океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР) и Р. Л. Фишер (Скриппсовский океанографический институт, США) — участники международной экспедиции на судне «Дмит-

¹ Подробнее о П. Ф. Рокицком, его научной деятельности см.: Савченко В. К. П. Ф. Рокицкий и развитие теоретической и математической генетики в нашей стране. — Природа, 1979, № 11, с. 50.

рий Менделеев» (17-й рейс), обобщив результаты этой экспедиции, а также данные других советских и американских экспедиций в Филиппинском море, смогли существенно расширить представления о геоморфологии этого крупнейшего краевого моря¹. Исследования краевых морей и анализ протекающих там геологических процессов могут дать ключ к пониманию эволюции зоны перехода между континентами и океаном.

Подводный рельеф Филиппинского моря отличается рядом характерных черт: исключительная по непрерывности цепь островных дуг и желобов, со всех сторон окружающих море; наличие узких линейно вытянутых поднятий, разделяющих море на ряд междугубов впадин; сочетание глубоководных желобов различного размера, в разной мере заполненных осадками. В большинстве желобов, тянущихся вдоль северной окраины Филиппинского моря, накопилась значительная (более 0,5 км) толща осадков, а на западе, в Филиппинском желобе, при глубине океана более 10 000 м их мощность составляет всего около 100 м; мало осадков и в желобах вдоль восточной окраины моря.

Филиппинскую котловину рассекает крупный Центральный разлом. Ранее считалось, что он выходит за пределы котловины на ложе океана, обозначая западное окончание древнего (мезозойского) Срединно-Тихоокеанского хребта. Новыми исследованиями установлено, что этот разлом доходит только до хр. Кюсю-Палау, кулисообразно смещая его. Разлом заполнен горизонтально лежащей осадочной толщей; следовательно, в постэоценовое время (т. е. за последние 37 млн лет) он находился в состоянии покоя.

В котловине Паресе-Вела обнаружена крупная депрессия — разлом Яп, лежащий прямо на продолжении глубоководного желоба Яп. Этот разлом прорезает океаническую кору на 1,5—2 км; установлена его максимальная глубина — 6900 м.

Предполагалось, что в этой области лежит ось расширения дна котловины Паресе-Вела. Однако авторы справедливо обращают внимание, что в таком случае зона субдукции (желоб Яп) и ось расширения дна должны были бы переходить одна в другую, что маловероятно. Следовательно, для обоснования предположения о расширении здесь дна требуется более детальный анализ геодинамической обстановки.

В Марианской котловине рельеф дна интенсивно расчленен. Комплекс геолого-геофизических признаков наиболее достоверно указывает здесь на современное растяжение земной коры.

Сделано важное заключение, что на дне Филиппинского моря нет форм рельефа, геоморфологически связанных с азиатской окраинной материка, а также с ложем Тихого океана. Этот вывод находится в хорошем согласии с геологическими данными о более молодом возрасте всех междугубов впадин Филиппинского моря по сравнению с возрастом основных обрамляющих его геоморфологических структур (включая ложе Тихого океана). По составу слагающих пород эти впадины похожи на ложе океана, а потому справедливо считаются областями новообразованной океанической коры². При этом установлено, что образование новой океанической коры и вулканизм несут на сопряженных островных дугах прерывистый характер, чередуясь во времени, а области проявления этих процессов последовательно смещаются в направлении от континента к океану. Таким образом, здесь отчетливо выявляется сочетание тектонических конструктивных и деструктивных процессов.

А. Е. Сузюмов,
кандидат геолого-
минералогических наук
Москва

² Геология дна Филиппинского моря. М.: Наука, 1980; Шараськин А. Я. Геологическая эволюция краевых морей (по данным глубоководного бурения). — В кн.: Геология дна океанов по данным глубоководного бурения. М.: Наука, 1981.



Ветры загрязняют города Русской равнины

Довольно распространено мнение, что в условиях застоя воздуха, при безветренной погоде, концентрация загрязняющих веществ в воздушных бассейнах повышается, а при усилении ветров — снижается. Поэтому для оценки потенциала загрязнения какого-либо района или города учитывают лишь повторяемость дней, в которые скорость ветра меньше 1 м/с; чем больше таких дней, тем большим должно быть загрязнение. Однако, согласно исследованиям, проведенным М. Е. Ляховым (Институт географии АН СССР), в ряде городов, расположенных на Русской равнине, загрязненность воздуха увеличивается с повышением скорости ветра.

О том, что некоторые вещества, загрязняющие атмосферу и способные в ней долго сохраняться, переносятся ветром на большие расстояния, известно давно¹. Например, Скандинавские страны сильно загрязняются воздухом, поступающим из промышленных районов Англии и ФРГ. Такие примеси, как сернистый газ и окись углерода, даже при слабых ветрах (скорость порядка 3 м/с) могут переноситься за сутки на 100—200 км.

При оценке влияния такого крупного очага загрязнения атмосферы, как Донбасс, на качество воздуха в соседних районах были проанализированы данные ежедневных наблюдений за загрязненностью воздуха и метеорологические характеристики за пять лет. Установлено, что устойчивый перенос воздуха на периферии мощных малоподвижных антициклонов в течение нескольких дней повышает загрязнение воздуха в приднепровских городах. Так, по приближенной оценке, уровень загрязнения воздушных бассейнов Запорожья и Днепрпетровска за

¹ Агапова Г. В. и др. — Геоморфология, 1981, № 2, с. 23.

¹ Дианов-Клоков В. И. Спектроскопические измерения газовых примесей в атмосфере. — Природа, 1981, № 9, с. 86.

счет адвекции — переноса воздуха с примесями — из Донбасса увеличивается на 15—20%.

Большое значение имеет также адвективное загрязнение атмосферы пылью, которая может переноситься на тысячи километров. Пыль поднимается в воздух не только при пыльных бурях, но когда скорость ветра составляет 15 м/с, но и при слабых ветрах. Максимумы запыленности наблюдаются в городах в сезоны, когда поля распаханы или покрыты слабоаризитом растительным покровом. Так, в период с 3 по 8 октября 1968 г., когда скорость ветра усилилась с 6 до 10 м/с, концентрация пыли в Курске увеличилась в 48 раз. Во многих городах, расположенных на Русской равнине, и в частности в Курске, Краснодаре и даже в Москве, запыленность воздуха повышается при ветрах, дующих со стороны сельской местности.

Таким образом, по мнению автора исследования, при определении потенциала загрязнения городов необходимо учитывать возможную адвекцию из соседних очагов загрязнения.

Известия АН СССР, сер. географическая, 1981, № 2, с. 40—46.

Минералогия

Янтарь на Волыни

В последнее время участились находки янтаря в осадочных породах, покрывающих северо-западную часть Украинского щита. Скопления янтаря здесь обнаружены в песчано-глинистых отложениях киевской (эоцен) и харьковской (нижний олигоцен) свит, залегающих на древней коре выветривания кристаллического фундамента. Недавно выявлены участки с промышленной концентрацией янтаря, в частности в районе ст. Клевцов (Ровенская обл.), на шебечных карьерах, где камень добывается уже около 30 лет. Для изучения свойств клековско-го янтаря мы отобрали здесь около 70 образцов.

Форма кусков янтаря отражает различные моменты ис-

течения исходной смолы — живицы хвойных, произраставших в олигоценовое время на территории Северной Украины. По этому признаку все янтари отчетливо разделяются на настольные (основная масса) и внутривольные. Преобладают округлые формы. Величина кусков весьма различна. Вес наибольшего из обнаруженных нами (6,8×5,2×1,8 см) — 46,8 г. По твердости, плотности и элементному составу клековские янтари близки балтийскому сукциниту.

В составе исследованного нами янтаря содержится углерода 78,06%, водорода — 9,55%. В них заключено повышенное количество серы (до 1,45%) и золы (до 8%). Главные и постоянные элементы-примеси — кремний, магний, железо и кальций (количество первых трех достигает 0,1%, кальция — 0,5%).

Окраска клековско-го янтаря изменяется от бесцветной и белой, через различные оттенки оранжевой, красноватой и коричневой до почти черной. Наряду с преобладающими желтыми и медово-желтыми янтарями есть редко встречающиеся красные¹. Представление об истинной окраске янтаря можно получить, лишь удалив с него бурю корочку выветривания.

Клековские янтари богаты разнообразными включениями. «Захороненные» в них частицы растений трудно, однако, поддаются диагностике — лишь однажды нам удалось определить в янтаре включение омежника водяного (из семейства зонтичных), который произрастает и в настоящее время по берегам водоемов и в канавах.

Клековский янтарь хорошо поддается обработке: он легко режется, сверлится, шлифуется, полируется. Изделия из него обладают высокими художественно-декоративными свойствами.

Б. И. Сребродольский,
кандидат геолого-минералогических наук
Львов

Палеогеография

Палеоклимат Шпицбергена и проблемы тектоники Арктики

В южной части о-ва Западный Шпицберген располагается ападина, заполненная угленосными породами третичного возраста. В них отлично сохранились остатки флоры, по которым возраст этих пород относится к палеоцен-эоцену (65—40 млн лет назад). Наряду с листопадными покрытосемянными (клен, липа, береза) в большом количестве встречаются хвойные, хвощи, папоротники, рогоз — пальмы. По остаткам моллюсков основание разреза датируется палеоценом. Нижняя часть этой осадочной толщи накапливалась в условиях морского побережья, верхняя — в озерных условиях.

Остатки теплолюбивой флоры на Шпицбергене были обнаружены и изучены еще в конце XIX в.; в последние годы западногерманские и английские палеонтологи и геологи заново собрали и детально изучили остатки флоры Шпицбергена и провели интересный палеоклиматический анализ¹.

Исследователи отмечают, что покрытосемянные дают мало информации о климатических условиях того времени, так как большинство их видов не могут быть с уверенностью причислены к современным семействам. Только остатки пальм указывают на теплый климат. Хорошим индикатором палеосреды служат вечнозеленые хвойные; шесть их видов представлены неизменными и в современной флоре. Среди них, например, *Metasequoia occidentalis* — вид, практически идентичный современному *M. glyptostroboides*, который распространен в Южном Китае; он может выносить слабые морозы, но в таких условиях не размножается. Другой вид — *Sequoia langsdorfii*, по-видимому, еще

¹ См.: Сребродольский Б. И. Красный янтарь. — Природа, 1981, № 1, с. 118.

¹ Polarforschung, 1978, № 1/2, S. 122; Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1980, № 30, p. 297.

более чувствителен к холоду, так как у совершенно подожего на него современного вида *S. sempervirens* даже самый незначительный мороз губит молодые побеги деревьев. Не пераносит мороза и *Taiwania schaeferi* — вид, аналогичный современному *T. egyphtomerioides*, который в качестве реликта произрастает на Тайване и в Южном Китае. Сезонные кольца на срезах стволов *Taiwania* отражают дождливое лето и сухую, но теплую зиму. Среднегодовая температура в палеогене была в пределах 15—18°С, что соответствует современной температуре юга Китая и о-ва Тайвань. Лишь на короткое время она могла падать до 0°С.

Остатков позвоночных животных на Шпицбергене не найдено, но они обнаружены в 1973 г. на о-ве Элсмира, к западу от Гренландии. Здесь в третичной толще осадков (3000 м) встречаются слои с богатой фауной рыб, амфибий, рептилий (черепахи и аллигаторы), птиц и млекопитающих. Среди последних преобладает семейство *Brontotheriidae*, причем большинство видов — американские и европейские и только два — азиатские.

Существование теплолюбивой флоры и фауны в полярных областях эпохи палеогена пока трудно объяснить. Даже при теплом климате сложно представить третичный биоценоз в высоких широтах — в условиях длительной полярной ночи (4 месяца). Могли ли там развиваться без фотосинтеза леса секвойи, тисса, гинкго и пальм, жить аллигаторы и другие рептилии?

Не раз пытались объяснить эту загадку с точки зрения дрейфа континентов, но, как подчеркивают Ю. М. Пушаровский и Е. Н. Меланхолина², факт широкого развития теплолюбивых растений в полярных областях не может однозначно свидетельствовать в пользу крупных перемещений литосферных плит в северных районах Тихого океана.

Можно предположить, что в палеогене наклон земной оси к плоскости эклиптики был меньшим, и тогда полярная

ночь была заметно короче, но это пока лишь гипотеза. Так что проблема третичного климата полярных областей все еще ждет своего объяснения.

К. А. Клитин,
кандидат геолого-
минералогических наук
Москва

Археология

Древнейшая глиняная статуэтка с берегов Енисея

В 1980 г. один из отрядов Саяно-Тувинской экспедиции Ленинградского отделения Института археологии АН СССР проводил раскопки многослойной Майнинской палеолитической стоянки на верхнем Енисее, в районе Саяно-Шушенской ГЭС. На глубине около 4 м нами была найдена схематичная антропоморфная статуэтка из красноватой обожженной глины (при извлечении из земли хрупкая фигурка рассыпалась, но была тщательно реставрирована в Государственном Эрмитаже Л. П. Гоген). Статуэтка залегала в пятом непотревоженном культурном слое вместе с костями животных и каменными орудиями. По геологическим данным, стоянке 13—16 тыс. лет, т. е. она

относится к верхнему палеолиту.

Именно в эпоху верхнего палеолита (35—10 тыс. лет назад) зародилось изобразительное искусство; одновременно это была и эпоха первых опытов человечества по использованию такого материала, как обожженная глина.

Трудно переоценить значение этой уникальной находки: ведь до сих пор статуэтки из глины были найдены лишь в нескольких палеолитических стоянках на территории Чехословакии. В долине же Енисея, несмотря на то что стоянки палеолита интенсивно изучаются здесь уже почти столетие, в них вообще никаких произведений искусства обнаружено не было. Найденное антропоморфное изображение вновь свидетельствует о достаточно высоком уровне развития культуры древнейших обитателей Сибири.

С. А. Васильев

Ленинградское отделение Института археологии АН СССР
Ленинград



К сведению читателей!

С 1 января 1982 г. цена за экземпляр нашего журнала устанавливается в размере 0—80 к. Стоимость годовой подписки 9 р. 60 к. Это связано с увеличением стоимости бумаги для печати, затрат на полиграфическое исполнение журнала, расходов на подготовку рукописей и художественно-графическое оформление издания.

² Геотектоника, 1981, № 1, с. 5.

Палеолитическая статуэтка из Майнинской стоянки (Восточная Сибирь).

Этология

О взаимопомощи у животных

М. А. Тимонов,

кандидат медицинских наук

Московский научно-исследовательский институт гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана

Фактов, свидетельствующих о существовании взаимопомощи у некоторых видов животных, описано уже немало¹. Биологом Станфордского университета (США) удалось, например, подсмотреть, как самка шимпанзе по кличке Бель чистит зубы своему соседу по вольеру². Иногда она протыкала эти пальцами, а зачастую использовала «инструменты» — веточки, валяющиеся поблизости и очищенные ею от листьев. За шесть недель наблюдений Бель 23 раза занималась уходом за зубами своих соседей. Как заправский доктор, она укладывала «пациента» на спину и, стоя перед ним или опускаясь на колени, чистила ему зубы в течение 3—12 мин. При этом свободной рукой она придерживала ему голову или пошире открывала рот.

Аналогичную картину наблюдали и мы во время экспериментальных исследований на белых крысах. Мы изучали биологическое действие фтора на организм с целью разработки лечебно-профилактических мероприятий по пре-

дупреждению кариеса зубов³. Программой исследований предусматривалось в группе из 30 животных, потреблявших питьевую воду с различным содержанием фтора, изолировать зубы от слюны, питьевой воды и пищи коронками. С этой целью по специальной методике были изготовлены пластмассовые коронки на центральные резцы нижней челюсти крыс. Фиксация коронок производилась фосфат-цементом.

Этот первый опыт, однако, не удался. Крысы в течение первых двух-трех дней собственными силами или с помощью друг друга сняли коронки с зубов. Пришлось усложнить опыт. Коронки из пластмассы были заменены на предельно тонкие (не толще папиросной бумаги) из сплава цветных металлов. Такие коронки сохраняли анатомическую форму зубов, не мешали работе челюстей и хорошо фиксировались на зубах фосфат-цементом. Для большей надежности каждую крысу после фиксации коронок выдерживали в течение двух часов в специальном домике так, чтобы она не могла ни лапами, ни какими-либо предметами снять коронки. Затем животных высаживали в обычные клетки.

Поначалу крыса — «носительница» коронок как бы изучала, что с ней сделали, но уже спустя 5—10 мин она энергично пыталась от них избавиться, потирая коронками о дно клетки.

Поработав 5—8 мин, она делала кратковременный перерыв и вновь старалась снять коронки, но уже с помощью пальцев передних, а иногда и задних лап. Окружавшие ее крысы первое время находились в стороне, но спустя 15—20 мин с осторожностью одна за другой приближались к «работающей» крысе, а затем поочередно пытались зубами ухватить коронку и стачить ее. Делали они это настойчиво, упираясь лапами о пол. После нескольких безрезультатных попыток крыса-носительница ложилась на спину, а в это время крысы-помощницы по одной, а то и по две сразу пытались захватить коронки зубами и стачить их.

Такая работа продолжалась ежедневно, но все с меньшим интересом: очевидно, и крыса-носительница и ее соседи постепенно привыкли к неестественному состоянию зубов. Однако спустя несколько недель из-за быстрого роста резцов (примерно на 5—6 мм в месяц) коронки начинали мешать работе челюстей и крысы вновь проявляли большое беспокойство: плохо ели, всячески пытались освободиться от коронок. После неудачных самостоятельных попыток крыса-носительница прибегала к помощи «собратьев». Крыса-помощник, независимо от того, имела ли она коронки на собственных зубах (но преимущественно крыса без коронок), засовывала в рот крысы-пациента переднюю лапу, зацепляла когтем коронку и с силой старалась сорвать ее; пробовала она это делать и зубами.

В ряде случаев — при слабой фиксации коронок — эти попытки удавались. Из 40 пластмассовых коронок 20 крысам удалось в первый же день снять 32, а 8 — на второй и третий день; из такого же

¹ См., например: Альтруистическое поведение антарктической рыбки. — Природа, 1980, № 8, с. 113; «Няньки» у зимородка. — Природа, 1981, № 6, с. 116.
² Nature, 1973, № 241, p. 477.

³ Подробнее об этих работах см.: Тимонов М. А., Новиков Ю. В., Анисимов З. А. Экспериментальные исследования биологического действия малых доз фтора на организм. — В сб.: Вопросы гигиены воды и санитарной охраны водоемов. М., 1975.

числа металлических коронок этим же крысам за 8 недель наблюдений удалось снять в первые два дня 3 коронки, а затем еще 8 (преимущественно спустя полтора месяца).

Описанная взаимопомощь осуществлялась с огромным упорством, при многократных повторениях, но без нанесения какого-либо ущерба челюстям. Эти наблюдения представляются нам весьма интересными как одно из объективных доказательств существования достаточно сложного информационного взаимодействия между животными.

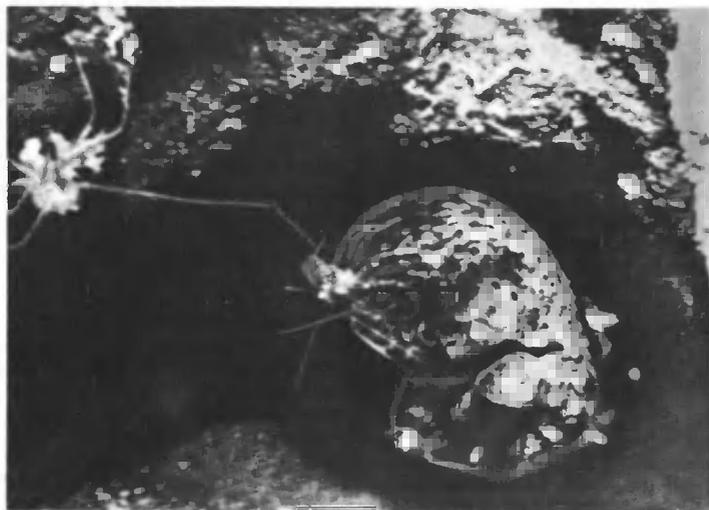
Зоология

Креветки-чистильщики

Р. Н. Буруковский,

кандидат биологических наук
Атлантический НИИ рыбного хозяйства и океанографии
Калининград

Так называют креветок, которые очищают рыб от наружных паразитов или поедают омертвевшие ткани с поврежденных мест на поверхности тела (практически именно это и служит единственным источником их пищи). Такая разновидность мутуализма (взаимной выгоды) была обнаружена сравнительно недавно, но сейчас уже известно более десятка видов креветок-чистильщиков, относящихся по меньшей мере к четырем семействам (Stenopodidae, Palaemonidae, Hippolytidae, Gnathophilidae). В качестве типичного примера чистильщика можно привести небольшую широко распространённую тропическую креветку *Brachycarpus biunguiculatus*, поведение которой подробно описала



Креветка-чистильщик «обслуживает» мурену.

Л. Корредор² по наблюдениям у о-ва Сент-Винсент (Антильские о-ва).

Креветки - чистильщики этого вида связаны с длинноиглыми морскими ежами рода *Diadema*, под которыми они находят защиту от хищников. Численность креветок сильно колеблется в течение года, а их поселения довольно разреженные. Взрослые креветки держатся поодиночке или парами; молодь может образовывать группы более чем в 15 особей, укрывающихся под одним морским ежом. Как и морские ежи, данный вид креветок-чистильщиков ведет ночной образ жизни (креветки боятся света и прячутся от него). Взрослая креветка занимает определенную, диаметром примерно в 2 м территорию, на которой могут жить чистильщики других видов (но не своего). В центре этой территории находится «станция очистки рыб». Как правило, это крупная губка, которую креветка использует в качестве ориентира, хоро-

шо заметного ее «клиентам». Станция очистки постоянна. Днем, в свободное от «обслуживания клиентов» время, креветка прячется под каким-нибудь укрытием в пределах своей территории — в кораллах, трещинах скал; под морскими ежами креветки прячутся только по ночам, сама же станция очистки никогда не используется как укрытие. Члены пары могут иметь общее укрытие, но у каждого своя собственная станция очистки. Большую часть времени креветка проводит на своем посту, очень мало плавая (наблюдения относятся ко взрослым особям, так как молодь слишком пуглива).

Мелкие виды рыб (длина тела 5—10 см), появляясь на станции очистки, сначала приближаются к креветке, пока та не коснется рыбы своими длинными усиками-антеннами. Затем рыба подплывает вплотную и несколько раз касается креветки ртом, непрерывно и осторожно работая хвостовым и грудными плавниками. В это время креветка поглаживает клиента усиками, словно врач, выслушивающий больного перед тем, как поставить диагноз и назначить лечение. После этого рыба ложится на бок и сохраняет это положение, лишь иногда двигая плавниками, пока длится очистка, а креветка передвигается вдоль рыбы, при этом крупными клешнями она действует, как ножницами, подрезая по-

¹ Bull. Mar. Sci. Gulf Caribbean, 1961, v. 11, № 2, p. 237—257; Australian Zoologist, 1968, v. 14, № 3, p. 277—289.

² Corredor L. Notes on the behavior and ecology of the new fish cleaner shrimp *Brachycarpus biunguiculatus*. — Crustaceana, 1978, v. 35, N 1, p. 35.

врежденные ткани и снимая паразитов. «Скошенный» материал креветка захватывает крупными или мелкими клешнями и отправляет в рот. Когда у рыбы очищен один бок, она сама переворачивается на другой. Вся процедура очистки занимает две-три минуты, и на протяжении этого времени креветка удерживает усики-антенны в непрерывном контакте с рыбой. По завершении работы креветка либо принимается за следующего клиента, либо возвращается на гленту для ожидания. Если к станции приближается крупная, до одного метра, мурена, а креветка в это время обрабатывает мелкую рыбу, мурена спокойно ждет своей очереди. Закончив работу, креветка подплывает к мурене и касается ее антеннами. Тогда мурена изгибает переднюю часть тела и поднимает ее вертикально, а задняя часть остается лежать на грунте. Креветка перебирается на мурену и, двигаясь по телу рыбы, чистит ее. Затем она отпрыгивает на губку, а мурена уплывает.

Взаимоотношения между креветками-чистильщиками и их клиентами достаточно сложны. По-видимому, они обмениваются определенными сигналами и рыба может различать сигналы разных чистильщиков при контакте с их антеннами. Л. Корредор наблюдала, как рыбы, сильно поврежденные или зараженные паразитами, ночью посещали ночных чистильщиков и очищали поверхность тела, а днем отправлялись к дневным чистильщикам (например, *Periclimenes pedersoni* или *Lysmata grabhami*), которые обрабатывали им рот и жабры. Хотя для двух постоянных клиентов *V. biunguiculatus* — коричневого хромиса (*Chromis multilineata*) и двухцветной сеньориты (*Eupomacentrus partitus*) — характерна дневная активность³, это не мешает им в случае необходимости являться на прием к ночному чистильщику. Позы, принимаемые одной и той же рыбой во время очистки, различны: ночью она ложится то на один, то на другой бок, а встречаясь с дневным чистильщиком, подставляет ему раскрытый рот, находясь в обычном положении.

Интересно отметить, что ассоциация креветки-чистильщика с животным, защищающим ее от врагов, присуща не только *V. biunguiculatus*. Упомянувшийся выше *Periclimenes pedersoni* на Большой Багамской банке связан с актинией *Lebrunia danae*, а вблизи острова Антигуа — с актинией *Bartholomea annulata*. *Lysmata grabhami* также связана с актинией — *Stoichactis helianthus*³. Эти виды — лишь незначительная часть довольно обширной фауны креветок, ассоциированных с актиниями, морскими ежами, морскими лилиями и головоногими моллюсками (всех перечислить в кратком сообщении просто невозможно). Встает вопрос: как возникает в эволюции тесная связь креветок-чистильщиков с рыбами? Каким образом креветка становится чистильщиком? Может быть, ассоциация креветки с морским ежом, среди игл которого она находит защиту от врагов, — первая стадия такого процесса? Следующей стадией может быть взаимная выгода (мутуализм), а завершающей — ассоциация, в которой партнеры уже не могут обойтись друг без друга (симбиоз). Но мы не знаем, насколько ассоциация с рыбами необходима для креветки: ведь Л. Корредор наблюдала за *V. biunguiculatus* также у Санта-Марта, а там она не видела, чтобы креветки чистили рыб.

Зато польза от креветки-чистильщика очевидна. Хотя из-за низкой численности сами креветки-чистильщики вряд ли играют заметную роль в питании каких-либо хищников, однако они должны существовать влиять на численность эктопаразитов и таким образом, пусть косвенно, участвовать в поддержании стабильности сообщества кораллового рифа.

Будучи прямыми врагами эктопаразитов, креветки-чистильщики позволили впервые обнаружить отношения «хищник — жертва» в морской паразитологии.

Ихтиология

Северный вогмер в Баренцевом море

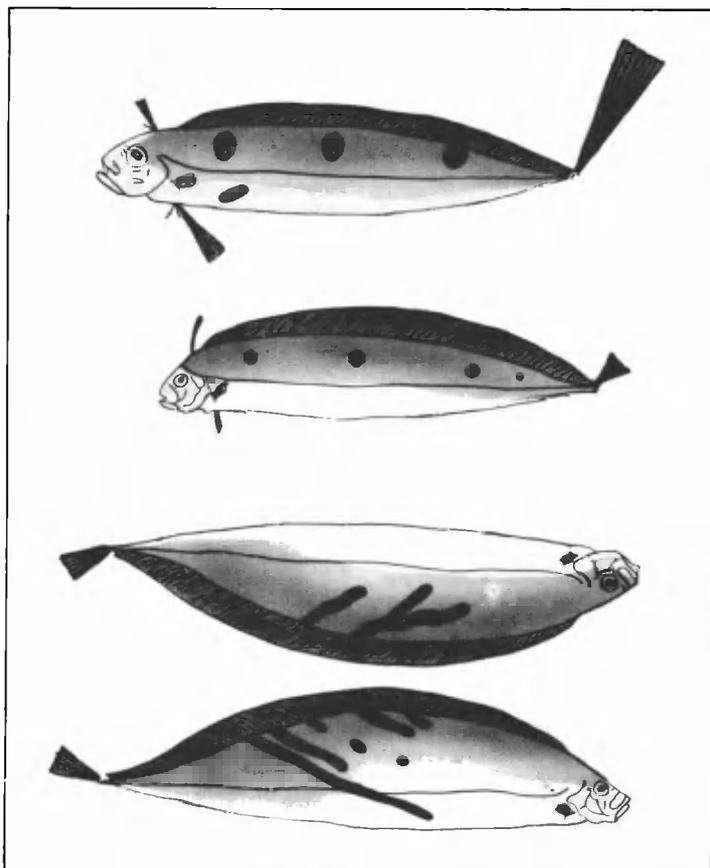
В. П. Пономаренко,
кандидат биологических наук,

директор Полярного НИИ морского
рыбного хозяйства и океанографии
им. Н. М. Киповича
Мурманск

Северный трахиптер (*Trachypterus arcticus*), или северный вогмер, как чаще его называют по-русски, — редкая крупная глубоководная рыба семейства *Trachypteridae*, обитающая в открытом море, за пределами литорали (взрослые особи живут на глубине более 500 м). Практически все известные виды этого семейства обитают в теплых морях, за исключением северного вогмера, который наиболее часто встречается севернее Полярного круга, у побережий Исландии и Норвегии. Несколько раз его находили у юго-западного побережья Гренландии и в проливе Эресунн, а также у берегов Великобритании. В большинстве случаев это были полумертвые взрослые рыбы, оказавшиеся в литоральной зоне моря. Все представители семейства вогмеровых изучены весьма слабо.

В отечественной литературе описаны лишь три случая поимки северного вогмера: в 1918 г. на Мурмане (около Средней губы Кольского залива и возле Териберки) и в 1938 г. у о-ва Кильдина в Баренцевом море. Сейчас стали известны еще несколько случаев попадания в промысловые орудия лова этой редкой и интересной рыбы. В одном из уловов, взятом с глубины 45—75 м рыболовным траулером «Бургиньо» во время промысла сельди в июне — августе 1965 г. вблизи о-ва Кильдина, оказался *T. arcticus*. Летом 1969 г. мурманский большой морозильный траулер (БМРТ) «Славгород», работая у берегов Кольского п-ова, выловил еще один крупный экземпляр этого вида. В мае 1973 г. БМРТ «Кировск» поймал в точке с координатами 70° 57' с. ш. и 32° 29' в. д. на глубине 260 м экземпляр вог-

³ Bull. Mar. Sci., 1976, v. 26, № 1, p. 65—71; Smithsonian Contributions to Zoology, 1972, № 98, p. 1—179.



Характерные рисунки по бокам тела у северного вогмера.

мера длиной 150 см. Поднятая на палубу рыба имела серебристую окраску; два темных пятна неправильной формы располагались вдоль спинной стороны и одно — у хвостового плавника.

Внешний вид вогмеров сильно меняется с возрастом, и поэтому разные исследователи дают и различные описания рисунка по бокам тела рыбы: у одного экземпляра — по два черных пятна с каждой стороны, у другого — черная линия, идущая параллельно боковой; по описаниям П. Хогнестада¹, у одного вогмера на обоих

боках были хорошо выражены четыре пятна овальной формы, расположенные симметрично — три над и одно под боковой линией (см. рис.), а у другого никаких пятен не было, но с обеих сторон проходили широкие темные линии различного рисунка. Эти наблюдения показывают, что северный вогмер может иметь самый различный рисунок, но при этом остается неясным, меняется ли рисунок в связи с возрастом рыбы или в зависимости от внешних условий, в которых в данный момент она обитает; а может быть, здесь сказывается чисто индивидуальная изменчивость?

Нерестится вогмер на больших глубинах. Икра, вероятно, медленно поднимается к

поверхности моря, где изредка встречаются планктонные личинки вогмера и его молодь. По внешнему виду молодые особи настолько отличаются от взрослых, что их относили даже к разным видам. У молодых вогмеров первые пять мягких лучей спинного плавника, передняя часть брюшного, а также лучи нижней лопасти хвостового плавника иногда превышают длину самой рыбы, но по мере роста вогмера лучи плавников уменьшаются. У взрослых особей брюшные плавники иногда отсутствуют вовсе. Спинной плавник проходит от головы до основания хвостового, который мал по величине и направлен вверх под углом 45° по отношению к оси тела. Анального плавника нет. Боковая линия на теле рыбы почти прямая, вооружена костными пластинками, каждая с шипиком. У взрослых особей тело с боков сильно сжато и удлинено. Все вогмеровые плавают благодаря волнообразным движениям спинного плавника, а тело их располагается в воде почти вертикально.

Советские промысловые суда в 1964—1965 гг. выловили 18 экземпляров вогмера у восточного и юго-восточного побережий Исландии. К сожалению, ни для одной из этих лодок не дано описания внешнего вида и характера рисунка рыб. Сообщается лишь, что они имели в длину от 120 до 285 см и большинство было выловлено на поверхности умирающими. Создается впечатление, что эти глубоководные рыбы, попадая в верхние слои океана, не выдерживают перепада давлений и погибают, но пока нет ответа на вопрос, почему и как они выходят в верхний, 200-метровый слой.

Судя по имеющимся сведениям о встречах с вогмером, эта рыба не так уж редка, как считалось раньше, попадает в улов. Дело в том, что на палубе поискового, а тем более промыслового судна рыба, как правило, не сортируется по видам. Между тем в «прилове» встречаются представители редких, а то и просто неизвестных науке видов.

Каждая находка редких рыб, в том числе и северного

¹ Hognestad P. T. — Astarte, 1962, № 21, p. 13.

вогмера, представляет большой научный интерес для познания не только морфологических особенностей, биологии и распространения этих мало изученных видов, но и в целом их фауны Мирового океана.

Геология

Старые оползни Крыма

А. А. Никонов,
доктор геолого-минералогических наук

Институт физики Земли им.
О. Ю. Шмидта АН СССР
Москва

На Южном берегу Крыма оползни, как известно, приносят массу беспокойства и осложнений. Массивные верхнеюрские известняки яйлы лежат на пластичных триасо-юрских сланцах; крутой рельеф, гидрогеологическая обстановка, постоянный подмыв берега морским прибоем — все это облегчает развитие оползневых процессов. Длительные периоды спокойного состояния склона внезапно сменяются резкой активизацией оползания, иногда сильно меняющей рельеф побережья. Особенно много следов старых оползней между Ялтой и Аю-Дагом. Известные живописные скалы в море около Гурзуфа — Адалары, скала Шалыпина, да и те, к которым прилепилось административное здание Артека, — не что иное, как крупные блоки юрских известняков, сползшие по сланцам таврической серии с высот яйлы к морю.

Некоторые позднейшие оползни удается идентифицировать по следам в рельефе и отложениях и датировать их по соотношению с археологическими материалами¹. Так, на территории Артека обнаружен древний могильник Сууксу. Он двухъярусный: нижняя часть относится к V—VII, а верхняя — к IX—XI вв. Раскопки показали, что нижняя часть могильника перекрыта и частично перемещена крупным оползнем, развивавшимся постепенно.

В 1963 г. в Артеке исследовали развалины большого поселения, существовавшего с VIII по XV в. Археологи выяснили, что уже после 1475 г., когда Крым стал вассалом Турции, половина построек была сброшена в море огромным оползнем, а оставшиеся строения придавлены глыбами — скорее всего, в связи с сильным землетрясением 1615 г.

Западнее Гурзуфа давние оползни разорвали площадку другого крупного средневекового поселения, опустили его на разные уровни и частично сбросили в море.

Около мыса Ай-Даниль автору удалось обнаружить и следы значительно более древних оползней. Здесь на протяжении не менее 1 км в обрыве высотой 10—30 м прибоем обнажены типичные оползневые образования — очень плотная суглинисто-щебнистая толща с обломками и глыбами разного размера. Эти глыбы представляют собой пакеты сланцев и песчаников таврической свиты, смятых, раздавленных, с нарушенной первичной структурой или вовсе без нее. Основная масса оползневых отложений также несет явные следы скольжения и смятия; там, где сохранилась слоистость, эти слои стоят вертикально или наклонены внутрь берегового склона. На участке берега длиной в несколько сот метров на высоте 1—4 м над уровнем моря в суглинистых оползневых слоях найдены погребенные древесные стволы хорошей сохранности диаметром до 20 см. По определению В. Р. Филина, это дуб и некоторые виды из семейства можжевеловых. Нет никакого сомнения, что древесные стволы попали в оползневую толщу в процессе ее отложения, т. е. синхронно ей.

Образец древесины дуба с участка, расположенного в 0,5 км к востоку от санатория Ай-Даниль, имеет радиоуглеродную датировку 3050 ± 40 лет². Несколько западнее, в боковой долинке, перекрывающие оползень делювиальные слои накло-

нены внутрь склона под углом 25°, т. е. нарушены вместе с оползнем. Они, в свою очередь, перекрыты делювиальными и алювиальными слоями 2—3-метровой толщины без следов деформаций в теле 4-метровой речной терраски. В этих отложениях встречаются наземные моллюски. Вблизи ручья в современном уступе к морю на глубине 0,5—1 м виден культурный слой с органическими остатками и угольками. Здесь найдены старинная бутылка характерной формы и бокал темного (венецианского?) стекла. Стекло плохой сохранности, крошится, на сколах цветные разводы. По-видимому, эти изделия были импортированы из Средиземноморья и относятся ко времени генуэзской колонизации Крыма (XIII—XIV вв.). Радиоуглеродный возраст культурного слоя по углям 720 ± 40 лет, — т. е. тоже начало — середина XIII в. — подтверждает это предположение. Что же касается оползня, то его геолого-геоморфологическое положение и соотношение со средневековыми слоями указывают на значительно более древний возраст. С другой стороны, геолого-геоморфологические условия позволяют заключить, что за последние 1—3 тыс. лет уровень моря не поднимался здесь выше 3—4, а возможно, и 1 м над современным.

Два других образца древесины (дуб и можжевельник), найденные в оползневых отложениях на расстоянии 0,8—0,84 км к востоку от санатория Ай-Даниль, имеют возраст соответственно 3920 ± 50 и 3910 ± 40 лет. Близость их положения и возраста заставляет отнести их захоронение к одному и тому же оползневому событию самого начала II тыс. до н. э. В это время в Крыму уже жили неолитические племена (так называемая культура раковинных куч), следы которых известны в Ореанде, Ласпи, у Фороса и в Гурзуфе.

Таким образом, возраст оползневых событий Крыма, вероятно порожденных землетрясениями, может быть значительно отодвинут теперь в глубь веков, за пределы исторических свидетельств.

¹ Домбровский О. Крепость в Гурзувитех. Симферополь: Таврия, 1972.

² Радиоуглеродные датировки (от 1950 г.) Л. Д. Сулержицко (Геологический институт АН СССР).

Математика — психология — живопись

А. И. Антипов,
кандидат физико-
математических наук
Москва



Б. В. Раушенбах. ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ПОСТРОЕНИЯ В ЖИВОПИСИ. Очерк основных методов. М.: Наука, 1980, 288 с.

Стало аксиомой утверждение, что наиболее интересные открытия и самые значительные результаты получаются в наши дни на стыке наук. На стыке двух наук — подразумевается при этом. Ибо так же, как в физике столкновение двух частиц — рядовое, обычное явление, а трех — это уже «экзотика», событие маловероятное и редкое, — не так-то просто привести пример взаимодействия, «стыка» трех наук. Именно на таком стыке трех наук или, точнее, трех дисциплин родилась книга Б. В. Раушенбаха «Пространственные построения в живописи». Речь идет о математике, психологии зрительного восприятия и теории живописи.

Интересна история создания этой книги. Около 20 лет

назад Б. В. Раушенбах, известный специалист в области механики, по поручению С. П. Королева занялся решением ряда задач, связанных с инженерной психологией. В частности, Б. В. Раушенбаха интересовало тогда, как наилучшим образом устроить пульт управления в космическом корабле. Для этого пришлось досконально изучить работы по психологии зрительного восприятия. Борис Викторович рассказывает, что его поразило тогда обилие накопленных в этой области экспериментальных фактов.

Острый интерес к живописи возник позднее, и он был связан с тем, что никто не мог убедительно объяснить, почему иконы русского средневековья написаны в обратной перспективе. Пришлось искать свой ответ на этот вопрос. И именно здесь пригодилось знание психологии зрительного восприятия, с одной стороны, и математики — с другой. Этот ответ лег в основу книги Б. В. Раушенбаха «Пространственные построения в древнерусской живописи», М.: Наука, 1974¹. Она была с интересом воспринята читателями, автор получил множество отзывов на свою работу. Это стимулировало новые поиски, и в результате появилась рецензируемая здесь книга.

Даже простые примеры убеждают нас в том, что в повседневной жизни человек имеет дело с двумя разными геометриями предметов: во-первых, это истинная геометрия, та, которой предмет обладает объективно, а во-вторых, это — видимая геометрия, та, которая порождена объективной геометрической формой, но преобразована при ее зрительном восприятии. Мы видим поверхность прямоугольного стола в виде фигуры, похожей на трапецию или параллелограмм, а то, что

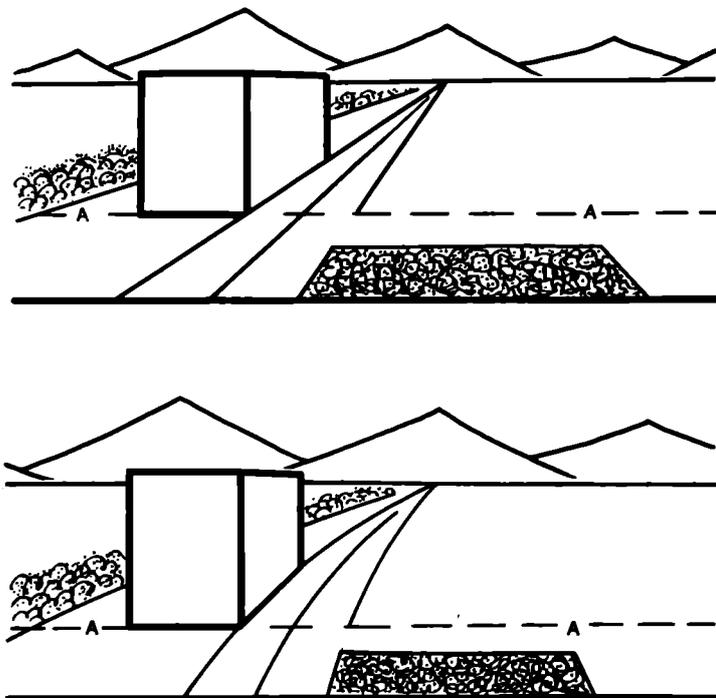
она на самом деле прямоугольна, мы знаем, но не видим.

Таким образом, наряду с понятием объективного пространства, в котором мы живем, возникает понятие пространства восприятия — субъективного, непосредственно ощущаемого зрением. Автор называет его перцептивным — от латинского слова «perceptio» — «восприятие». Геометрия этого пространства оказывается сложной и резко отличающейся от обычной эвклидовой геометрии.

Смысловая зрительное восприятие с позиций математика, Б. В. Раушенбах перевел на язык уравнений работу глаза, фиксирующего на сетчатке образ объективного пространства, и работу мозга, преобразующего этот двумерный образ в трехмерное перцептивное пространство. Вслед за этим строго математически был решен вопрос о возможности точного изображения видимого пространства на плоскости. Однако вернее было бы сказать — о невозможности это сделать. Ибо какую бы ни придумать систему изображения предметного мира, воспринимаемого зрением — иначе говоря, какую бы ни построить перспективу, — в нее неизбежно будут заложены ошибки, которые принципиально не позволят без тех или иных искажений передать на плоскости перцептивное пространство.

Впрочем, знание свойств этого пространства позволяет математически строго построить такую систему перспективы (автор называет ее перцептивной), которая дает минимальное количество искажений на полотне художника. Более того, они могут быть распределены так, что зритель будет не в состоянии их обнаружить. Например, изображая плоский ландшафт, художник может выбрать систему перспективы, в которой ошибки сосредоточены в вертикальном направлении, а работая над современным городским пейзажем, в котором господствуют вертикальные планы, он может пост-

¹ См. рец.: Левин А. Е. Пространство — глаз — изображение. — Природа, 1977, № 4, с. 147.



Условный пейзаж в линейной [вверху] и в перцептивной системе перспективы [внизу]. Средний план на обоих рисунках (линия AA) показан в одном и том же масштабе для удобства сравнения изображений. Видно, что в системе перцептивной перспективы увеличены (по сравнению с линейной) размеры предметов в далеком плане (горы) и уменьшены на близком плане (цветочная клумба). Возросла глубина среднего плана (от линии AA до гор). В то же время глубина переднего плана (от линии AA до нижнего образа рисунка) уменьшилась по сравнению с линейной перспективой. Кроме того, объективно прямые линии стали на рисунке кривыми.

роить перспективу с максимумом искажений в горизонтальной плоскости.

Характеризуя наиболее общие черты перцептивной перспективы, можно сказать, что это, прежде всего, центральная криволинейная перспектива. При этом в изображении очень близких передних планов она оказывается «легкой» обратной перспективой, в несколько большем удалении от смотрящего приобретает черты аксонометрии (т. е. параллельной перспективы, когда параллельные линии объективного пространства пе-

редаются параллельными же и на картине), а в изображении далеких областей пространства переходит в привычную линейную перспективу.

Даже если бы только этим ограничивалось содержание книги, она была бы нужной и интересной. Но «эффект стыка трех дисциплин», о котором мы говорили в начале, делает чтение книги Б. В. Раушенбаха еще и по-настоящему увлекательным. Ибо каждая новая глава заставляет читателя по-новому взглянуть на хорошо, казалось бы, известные «вещи и — самое главное — снова и снова демонстрирует плодотворность нетрадиционного (но, конечно, строго научного) подхода к разработанным, классическим, вроде бы, проблемам.

Вот, например, вопрос о линейной перспективе. Выше мы назвали ее привычной, и следовало бы добавить, что привычка к восприятию изображений, построенных в системе линейной перспективы, складывалась у людей на протяжении нескольких последних столетий. Она особенно укоренилась с появлением фотографии и кино, поскольку фото- и кинокадры с абсолютной строгостью «строятся» на основе линейной пер-

спективы. Между тем при воспроизведении на плоскости близких областей видимого пространства линейная перспектива оказывается совершенно беспомощной, такие изображения содержат существенные искажения видимых образов, и наш мозг умеет «не замечать» их именно в силу «привычки», приобретенного навыка интерпретировать эти искажения. Приобретению и закреплению такого навыка способствует жестко запрограммированный характер искажений, обусловленный однозначными правилами построения линейной перспективы.

«Отменяет» ли линейную перспективу перцептивная перспектива Б. В. Раушенбаха? Нет, линейная перспектива оказывается частным случаем последней и продолжает «верой и правдой» служить при изображении отдаленных областей пространства. Это напоминает соотношение классической и квантовой механики: в окружающем нас макром мире справедливы законы классической физики, явления микромира подчиняются качественно другим законам, но тем не менее квантовая механика содержит в себе классическую «как предельный случай»; при определенных и хорошо известных условиях одни законы трансформируются в другие.

Эта аналогия (хотя она и не распространяется на значение открытий) представляется уместной и в другом аспекте. Признанию квантовой механики (как и почти каждой новой теории) в свое время препятствовал так называемый здравый смысл, приобретенный опытом предшествующих поколений. Будучи несомненно «здравым», он ставил под сомнение все, что с этой точки зрения не соответствовало традиционным понятиям, разрушало до тех пор стройную систему знаний. Прошло немало времени, прежде чем стало ясно, что новая теория органично дополняет и существенно расширяет традиционные представления, и здравый смысл освоил новые рубежи.

«Система линейной перспективы», — пишет автор, — «ослепила многих математическими формулами и оптико-геометрическими построениями, лежа-

щими в ее основании; причем не смущала даже бросающаяся в глаза беспомощность этой системы при изображении весьма важных близких областей пространства. Иногда фетишизация этой системы доходила до того, что ее объявляли единственно правильным способом изображения (ведь с математикой не поспоришь!), а следовательно, обязательным признаком реалистической живописи.

Следует напомнить, что математика — всего лишь мощный инструмент, а результаты его использования зависят прежде всего от того, к чему этот инструмент прикладывают. Система линейной перспективы передает лишь первую ступень зрительного восприятия (образование дугмерного изображения на сетчатке глаза. — А. А.), и ее математическое обоснование тоже не переступает этой черты.

В эпоху Возрождения великие создатели системы перспективы не имели ни малейшего понятия о том большом вкладе, который дает работа мозга в систему зрительного восприятия, да если бы они это и знали, уровень развития математики того времени не позволил бы привлечь ее к описанию работы системы «глаз + мозг». Однако ограничиваться архаичными представлениями XV в. сегодня означает тянуть искусствознание назад» (с. 78—79).

Автор с полным правом говорит здесь об искусствознании, несмотря на то что в книге не однажды встречаются оговорки, подчеркивающие, что он «всюду подходил к произведениям живописи как к примерам, иллюстрирующим те или иные геометрические свойства изображений, и никоим образом не берет себя судить об их художественных особенностях, достоинствах или недостатках» (с. 4). По-видимому, в этом также находит выражение «эффект стыка трех дисциплин»: рассматривая лишь одну и, казалось бы, вовсе не самую существенную сторону художественного творчества, но, привлекая для своего исследования современные средства из арсенала математики и психологии, автор делает выводы, обогащающие искусствознание и дающие для его

развития дополнительный импульс.

Мы не имеем возможности остановиться здесь на анализе живописи Древнего Египта, миниатюр Индии и Ирана, древнерусской живописи — анализе, который составил существенную часть книги. Обратимся лишь к последней, десятой главе, посвященной творчеству Поля Сезанна. По общему мнению, этот мастер «разрушил систему перспективы, созданную в эпоху Возрождения и более 400 лет верно служившую европейской живописи» (с. 215). На этом основании некоторые искусствоведы «зачисляют» Сезанна в родоначальники абстракционизма. Однако внимательное изучение пространственных построений в его картинах, облегченное тем, что существуют фотографии изображенных художником участков местности, снятых с тех же точек, с которых он писал, показывает, что Сезанн пользовался перцептивной перспективой. Конечно, он делал это интуитивно, стремясь как можно точнее передать на холсте видимое им пространство. И оказывается, это удавалось ему с максимальной возможной точностью.

Автор приводит количественную оценку точности изображения пространства в линейной перспективе и перцептивной, которой пользовался Сезанн. Он рассматривает 27 параметров, характеризующих точность передачи на плоскости зрительно воспринимаемого пространства (9 для ближнего, среднего и дальнего планов). 15 из этих параметров искажаются в системе линейной перспективы, и только 8 — в перцептивной! Искажения всех 27 параметров свести на нет принципиально невозможно. Отсюда, в частности, следует, что «с именем Сезанна должно быть связано не разрушение «научной перспективы», а развитие научной перспективы, пусть и совершенное художником интуитивно, без знания достаточно сложных математических оснований, лежащих в основе применявшихся им перспективных построений» (с. 234).

К интересным и убедительным выводам приходит Б. В. Раушенбах, рассматривая

в ретроспективе развитие методов пространственных построений. Строго математически доказав, что никогда не существовало и никогда не может быть разработана научная система пространственных построений, точно передающая на плоскости геометрические характеристики изображаемого пространства, он приходит к заключению, что каждый этап развития методов пространственных построений (чертежные методы в Древнем Египте, аксонометрические методы и их трансформации в Средневековье, классическая линейная и, наконец, жесткая перцептивная система перспективы) «с позиции его внутренней логики математически и психологически безупречен. Именно это обстоятельство приводит к тому, что любой из этих четырех разных способов пространственных построений способен к «возрождению» и, если этого потребует художественная специфика произведения, может успешно применяться и сегодня» (с. 235).

Новая книга Б. В. Раушенбаха представляет несомненный интерес для самого широкого круга читателей. Она написана живым и понятным языком, содержит более 100 иллюстраций, а материалы математического характера собраны в разделе «Наброски теории пространственных построений в изобразительном искусстве», включающем 11 приложений. В зависимости от уровня подготовки и от глубины интереса к рассматриваемым в книге проблемам, читатель может обращаться или не обращаться к этому разделу. Однако это не значит, что его можно рассматривать как малосущественные примечания к основному тексту; именно математический раздел книги представляет собой то строгое основание, на котором держится аргументация автора.

Думается, что эта книга привлечет внимание специалистов: искусствоведов, математиков, психологов. Ибо наряду с тщательной разработкой вопроса, вынесенного автором в заглавие, остаются нерешенными другие, не менее интересные и важные. Возможно, наиболее существенный из них — вопрос о

геометрии перцептивного пространства, которому посвящено Приложение 7. Идея автора о том, что перцептивное пространство можно рассматривать в некотором смысле по аналогии с пространством Эйнштейна, будит воображение и стимулирует новые поиски на стыке двух, трех и более наук.

В защиту пернатых хищников

Н. Н. Дроздов,
кандидат географических наук
Москва



В. М. Галушин. ХИЩНЫЕ ПТИЦЫ ЛЕСА. М.: Лесная промышленность, 1980, 158 с.

Книга эта, которую читаешь не отрываясь, одним залпом, не укладывается в рамки привычных жанров. Научное исследование? — несомненно: автор приводит множество фактов и цифр из собственных многолетних наблюдений, из обширной мировой литературы. Популярная книга? — бесспорно: автору удалось доступно и понятно для массового читателя изложить и основные аспекты биологии хищных птиц, и сложные проблемы взаимоотношений хищных птиц и человека. Художественный очерк? — конечно: со страниц книги встают

как живые образы людей — ученых и лесников, случайных попутчиков и друзей, всех, кто изучал или охранял хищных птиц, и прежде всего — пусть автор и не стремился к этому — облик самого рассказчика, человека беззаветно преданного делу науки, делу охраны природы.

Объединяя все эти черты, присущие книге, можно назвать ее прекрасным образцом научно-художественного повествования. Все эти достоинства книги определяются прежде всего тем, что автор пишет о том деле, которому он посвятил всю свою жизнь. Владимир Михайлович Галушин — ведущий специалист нашей страны в изучении и охране хищных птиц, ученик и последователь выдающегося зоолога Г. П. Деметьева, активный деятель международного движения охраны природы, член комиссии Международного союза охраны природы (МСОП) и ученый секретарь Международного совета по охране птиц (СИПО). Помимо многолетних научных исследований, автор находит время и для обширной общественной, пропагандистской и популяризаторской работы как среди широких масс любителей природы, так и в системе государственных и общественных организаций, принимающих решения в области охраны природы. Именно автору книги, в первую очередь, обязаны хищные птицы тем, что в 1964 г. были приняты, наконец, соответствующие меры, которые изменили на 180° отношение к хищным птицам в нашей стране: от премий за убийство хищной птицы к премиям за их охрану.

Поэтому читатель находит на страницах книги не спокойное, равнодушное повествование, а взволнованный рассказ о судьбе хищных птиц, рассказ знатока и влюбленного почитателя этих совершенных созданий природы. Недаром автор и начинает и заканчивает книгу словами, равносильными в устах зоолога объяснению в любви: «... Я никогда не стрелял в хищных птиц».

Структура книги естественна, логична и равновесна — от занимательных фактов к сложным проблемам и затем к их продуманным и выстраданным решениям. Небольшое

вступление знакомит читателя с интересами и увлечениями автора, а далее — с общей характеристикой хищных птиц: кто они, где водятся, чем отличаются от остальных представителей класса пернатых.

В большой главе «Жизнеописание» мы узнаем о каждой хищной птице — откуда происходит ее название, чем характерен ее облик и строение, каковы ее повадки и биология, т. е. где она гнездится, как строит свое гнездо, чем питается и чем кормит своих птенцов, как ловит добычу, сколько ее съедает за день и за год, какова численность каждого вида и в нашей стране, и за рубежом. Все эти сведения основаны и на личных наблюдениях и исследованиях, и на фактах из новейших литературных источников. Где бы ни был автор — в лесах Подмосковья, в вологодской тайге, в индийских джунглях или на острове Маврикий — всюду он собирал и накапливал факты и факты из жизни хищных птиц. Это позволяет автору делать обоснованные выводы о причинах падения численности тех или иных видов, о мерах по их охране, давать на этот счет разумные рекомендации.

Знакомству с характерными признаками, с обликом и поведением хищных птиц очень помогают иллюстрации художника В. А. Горбатова — динамичные, стилизованные, но в то же время биологически точные и грамотные.

Далее автор переходит к историческому обзору сложных проблем взаимоотношений хищных птиц с человеком, их значения в природном равновесии, в лесном и сельском хозяйстве. Амплитуда отношения человека к хищным птицам колебалась чрезвычайно широко, по меткому выражению автора, «от любви до ненависти и обратно». Хищные птицы в художественных образах древнего мира и средневековья, соколиная охота... — и массовое истребление хищных птиц как «злейших врагов природы и человека».

Постепенно и ненавязчиво, с полной научной аргументацией излагаются в книге проблемы взаимодействия в системе «хищник — жертва», роль хищников в поддержании природно-

го равновесия, влияние хищников на структуру популяций жертв, на их оздоровление и на естественный отбор. Велика роль хищных птиц в сохранении урожая на обширных колхозных полях, а в охотничьих хозяйствах, напротив, воздействие на популяции охотничьих птиц оказалось на поверку ничтожным. Объяснение тому — принципиальная разница между массовой полевой добычей грызунов и «штучной» добычей рябчиков да тетеревов. Среди новых проблем, вызывающих и гибель птиц,

и убытки для человека возникали такие, как столкновение птиц с самолетами и гибель птиц на проводах электропередач.

Вскрыв сущность всех этих проблем, автор естественно подводит читателя к их решению — в заключительной главе мы находим стройную систему природоохранных мероприятий, вошедших в жизнь (нашу и хищных птиц) за последние десятилетия. Международные конвенции, Международная Красная книга, Красная книга СССР — все это этапы в решении проб-

лемы спасения хищных птиц, сохранения пернатых аристократов неба для природы, для хозяйства, для человека будущего.

Книга эта, несомненно, найдет своего читателя среди студентов и школьников, труженников лесного и охотничьего хозяйства, работников заповедников, она будет незаменимым помощником учителю при подготовке к урокам и во внеклассной работе, хорошим собеседником и другом каждому любителю природы.

НОВЫЕ КНИГИ

Астрономия

И. И. Чурюмов. КОМЕТЫ И ИХ НАБЛЮДЕНИЕ. М.: Наука, сер. «Б-ка любителя астрономии», 1980, 160 с., ц. 25 к.

Книга посвящена наиболее эффективным представителям группы малых тел Солнечной системы — кометам. Человек давно наблюдает и изучает кометы — своеобразные космические айсберги, состоящие из замороженных газов, водяного льда и тугоплавкого минерального вещества в виде пыли и более крупных фрагментов.

Первое зафиксированное в хрониках появление кометы относится к 2296 г. до н. э. Тем не менее однозначных выводов относительно природы комет, их строения, рождения и смерти пока не сделано. Автор вводит нас в курс научных споров, знакомит с существующими гипотезами советских и зарубежных астрономов. Наиболее подробно он останавливается на современных гипотезах состава ядер комет, которые до сих недоступны телескопическим наблюдениям, так как сваливаются окружающей их окружающей материей, истекающей из ядер.

Автор рассказывает о методах изучения комет с помощью наземной и космической техники. Отдельная, и немалая, глава посвящена задачам и методам наблюдений комет любительскими средствами. Кометы, в отличие от астероидов, интенсивно рассеивают солнечный свет в некоторых участках спектра, поэтому поддаются наблюдению несильными оптическими приборами и даже невооруженным глазом. Любители «охоты за кометами» найдут для себя в книге немало ценных практических советов.

В приложении приведена характеристика комет семейства планет Солнечной системы, а также перечислены некоторые кометы, обладающие какими-то уникальными, только им присущими особенностями.

Техника

Дж. Гордон. КОНСТРУКЦИИ, ИЛИ ПОЧЕМУ НЕ ЛОМАЮТСЯ ВЕЩИ. Пер. с англ. В. Д. Эфроса под ред. С. Т. Милейко. М.: Мир, 1980, 390 с., ц. 1 р. 20 к.

Механические конструкции окружают нас повсюду.

Это — здания, мосты, самолеты, дорожные покрытия, плотины, мебель и, наконец, сам человек, которого можно рассматривать как биомеханическую конструкцию. В книге профессора Реддингского университета Дж. Гордона в увлекательной и доступной широкому кругу читателей форме рассказывается о прочности, устойчивости и надежности конструкций — технических и биологических. Естественно, понять, как будет вести себя под действием нагрузок конкретное сооружение, будь то арочный мост или женское платье, невозможно без теории упругости, изложению которой и посвящена первая часть книги. В ней без всякого злоупотребления математикой введены основные понятия и принципы теории упругости, наглядно поясняемые разнообразными примерами, рассмотрении этой области механики. Это чрезвычайно облегчает восприятие следующих частей книги, в которых рассматриваются самые разнообразные конструкции и вопросы их прочности и устойчивости под действием возникающих в них напряжений. Здесь автор не обходит вниманием того факта, что многие материалы, из которых сделаны

конструкции, сами представляют собой конструкции. Это относится, например, к армированному бетону, дереву, живым тканям и, конечно, к композиционным материалам. Популярный рассказ о теории упругости, о механике материалов и конструкций — науке древней и вечно молодой — будет полезен и школьнику, и студенту, и инженеру, и биологу.

Химия

Э. Гроссе, Х. Вайсмантель. ХИМИЯ ДЛЯ ЛЮБОЗНАТЕЛЬНЫХ. Основы химии и занимательные опыты. Пер. с нем. Л. Н. Исаевой под ред. Р. Б. Добротина и А. Б. Томчина. Л.: Химия, 1980, 392 с., ц. 1 р. 60 к.

Эта книга адресована в первую очередь старшим школьникам. «Мы надеемся,— предупреждают авторы,— что наш читатель прежде всего основательно изучит школьный курс химии, почитает и специальную литературу (рекомендательный список приведен в конце книги)». Излагая начала органической и неорганической химии, авторы представляют химию как науку практическую, достижения которой важны для многих областей хозяйства. Многочисленные опыты, описанные в книге, научат любителей химии получать в нехитрой школьной лаборатории разные полезные вещества — соду, аспирин, красители и т. д., расскажут, как выплавить медь в лабораторном тигле, изготовить пергаментную бумагу, суповой концентрат или сварить мыло.

Минералогия

В. С. Балицкий, Е. Е. Лисицина. СИНТЕТИЧЕСКИЕ АНАЛОГИ И ИМИТАЦИИ ПРИРОДНЫХ ДРАГОЦЕННЫХ КАМНЕЙ. М.: Недра, 1981, 158 с., ц. 1 р. 20 к.

В качестве эпиграфа авторы взяли слова величайшего знатока и ценителя камня А. Е. Ферсмана: «...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».

В книге определено место синтетических ювелирно-ограночных минералов в мире драгоценных камней, даны общие представления о процессах кристаллизации и методах выращивания монокристаллов, показаны приемы диагностики ограненных драгоценных камней, охарактеризованы современные промышленные и перспективные лабораторные методы получения синтетических самоцветов и т. д. И хотя книга рассчитана на минералогов, кристаллографов, специалистов в области ювелирного дела и выращивания кристаллов, ее с интересом прочитают все любители самоцветных камней.

Этнография

ЭТНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ В ДРЕВНОСТИ (II тысячелетие до н. э.). М.: Наука, Гл. ред. восточной литературы, 1981, 374 с., ц. 5 р. 30 к.

II тысячелетие до н. э.— важная эпоха в этногенезе народов Центральной Азии. В это время закладывалась основа формирования народов, населявших ее в исторический период, в том числе тех, которые обитают там и в настоящее время — ряда народов советской Средней Азии, Пакистана, Индии, Монголии и других стран. Их формирование протекало в ходе сложного взаимодействия этносов, уже обитавших на этой территории к началу рассматриваемого периода, с племенами, проникавшими сюда с носителями индоиранских языков.

В сборнике, который составлен из статей советских и зарубежных ученых, выясняется зона обитания пришлых племен, время и пути их миграций, характер взаимодействия различных этнических групп, связи археологических культур с тем или иным этносом. Авторы исследуют литературные памятники (Авесту), отражающие экономические структуры обществ,

рассказывают о «церемониальных центрах» индоиранцев, приводят археологические свидетельства об ариях в Северо-Западной Индии.

Этнография

Р. М. Берндт, К. Х. Берндт. МИР ПЕРВЫХ АВСТРАЛИЙЦЕВ. Сокр. пер. с англ. В. А. Жернова, В. М. Кудинова под ред. О. Ю. Артемовой. Отв. ред. и авт. предисл. В. Р. Кабо. М.: Наука, Гл. ред. восточной литературы, 1981, 447 с., ц. 3 р. 40 к.

Рональд и Кэтрин Берндты хорошо известны этнографам всего мира. Они внесли большой вклад в этнографическое изучение коренного населения Австралии. Книга всесторонне освещает общественный строй, религию, мифологию, искусство, современное положение австралийских аборигенов, которые, находясь вплоть до европейской колонизации почти в полной изоляции от остального мира, лучше и полнее, чем многие другие народы, сохранили архаические черты общечеловеческой культуры, восходящие к эпохам позднего палеолита и мезолита. Главы о тотемизме, нормах общественного поведения и контроля, устном народном творчестве насыщены богатым фактическим материалом; за которым стоят многолетний труд, бесчисленные экспедиции и самих авторов и других исследователей. Берндтами переведено большинство вошедших в книгу мифов и легенд.

Археология

ПРОБЛЕМЫ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ АРХЕОЛОГИИ. ЭПОХА ЖЕЛЕЗА. Отв. ред. Т. Н. Троицкая. Новосибирск: Наука, 1981, 153 с., ц. 2 р. 20 к.

В древние эпохи на территории Западной Сибири происходило столкновение многих этнических культур запада и востока, что делает археологию этого региона особенно интересной, ибо она позволяет проследить генезис многих народов. В сборнике, авторами которого являются Н. Л. Члено-

ва, Н. А. Боковенко, В. Д. Кубарев, Н. М. Зиняков и др., раскрываются связи культур Западной Сибири с культурами Приуралья и Среднего Поволжья в конце эпохи бронзы и в начале железного века, исследованы бытовые и сакральные принадлежности кочевников азиатских степей и Горного Алтая, раскрыты некоторые религиозно-мифологические сюжеты (например, символика коня или соболя в изобразительном искусстве).

Книга представляет интерес для историков, этнографов, археологов и всех, кто занимается проблемами мировой культуры.

Археология

О. Д. Лордкипанидзе, Т. К. Микеладзе, Д. А. Хашутаишвили. ГОНИЙСКИЙ КЛАД. Тбилиси: Мецниереба, 1980, 88 с., ц. 1 р. 90 к.

В этой небольшой книге рассказывается о кладе золотых изделий II—III вв. из села Гонио, расположенного на территории исторического городка-крепости Абсара. Упоминания об этой крепости в римских и византийских источниках свидетельствуют о ее широких связях с ведущими державами древнего мира. Памятники из Гонио (водопроводная сеть, мощеная улица, амфоры, керамика, монеты, скульптуры) также указывают на расцвет городской жизни. Обнаруженные здесь золотые изделия орнаментированы прямоугольниками, треугольниками, пирамидами и розетками из зерни, что говорит об уже сложившемся в тот период в ювелирном искусстве Грузии едином художественном стиле.

Книга снабжена цветными иллюстрациями и таблицами. Она адресована всем интересующимся археологией.

История науки

Д. С. Данин. ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МИР. М.: Знание, сер. «Жизнь замечательных идей», 1981, 208 с., ц. 75 к.

В научно-художественной книге, написанной автором таких

известных произведений о науке, как «Неизбежность странного мира», «Резерфорд», «Нильс Бор», рассказывается о становлении квантовой механики от первых представлений о структуре атома и квантовой гипотезы М. Планка до принципа дополнителности Н. Бора.

Рождение и уточнение основных понятий квантовой физики, ключевые события квантовой революции, их научный смысл излагаются как человеческая история, сплетенная из «идей и страстей, озарений и отчаяний, радостей и огорчений». Герои книги — непосредственные участники «квантового мятежа», приведшего к коренной ломке понятий, на которых основывались классические описания природы. Автор воспроизводит атмосферу научных дискуссий, борьбы мнений, сопровождавших каждый новый шаг в познании микромира.

Повестью о драме «идей и людей», Д. С. Данин широко привлекает воспоминания ученых, материалы архива Института теоретической физики в Копенгагене, в котором ему пришлось дважды поработать. Во вступительной главе рассказывается о том, как этот архив был создан.

Книга, несомненно, заслуживает того, чтобы ее прочитали все те, кто интересуется историей науки и культуры XX столетия.

История науки

ИВАН МИХАЙЛОВИЧ СЕЧЕНОВ. К 150-летию со дня рождения. Под ред. П. Г. Костюка, С. Р. Микулинского, М. Г. Ярошевского. М.: Наука, 1980, 607 с., ц. 5 р. 80 к.

Книга представляет собой сборник статей, подготовленный Институтом истории естествознания и техники АН СССР в связи со 150-летием со дня рождения И. М. Сеченова (1829—1905).

Идеи Сеченова стимулировали развитие целых направлений в исследовании психологических проблем. Поэтому к участию в сборнике привлечены ведущие советские специалисты в соответствующих областях. Два раздела сборни-

ка — «Сеченов и развитие физиологии» и «Сеченов и развитие научной психологии» — показывают актуальность открытий Сеченова (принцип саморегуляции на обратных связях; принцип центрального, сеченовского, торможения; обнаружение электрофизиологической активности ствола мозга; гипотезы, касающиеся расшифровки механизма памяти) для современной науки. Большой раздел книги посвящен влиянию сеченовских исследований на развитие последующих русских психофизиологических школ — И. П. Павлова, В. В. Введенского, А. А. Ухтомского, Н. А. Бернштейна.

Но в сборнике затрагивается не только научная деятельность Сеченова. Раздел «Сеченов и русское общество» рассказывает о творческой личности ученого, о демократизме его общественных устремлений, здесь же показана близость его философской позиции материалистическому учению революционных демократов. Эти положения подтверждены живыми воспоминаниями современников Сеченова.

В виде приложения публикуется краткая летопись жизни и деятельности И. М. Сеченова, библиография его работ, перечень исследований о Сеченове на русском языке.

СОБРАНИЕ

ПЬЕСА В ОДНОМ ДЕЙСТВИИ

К. А. Лория

Рисунки Ю. М. Аратовского.

Действующие лица

Начальник сектора.
Зам. начальника сектора.
Пом. начальника сектора.
Иванов, Петров, Сидоров, Кузькин, Закрутайло, сотрудники сектора.
Секретарь.
Проф ор г.

Зам. начальника сектора является в то же время его начальником по административной линии, пом. начальника является начальником их обоих по общественной линии, поэтому в дальнейшем будем их именовать: первый начальник, второй начальник и третий начальник.

Первый начальник. Начинаем наше собрание. На повестке дня отчет о проделанной работе и распределение машинного времени на следующую неделю. Слово предоставляется Иванову.

Иванов. Мы, значит, разыгрывали случайные числа в интервале от нуля до единицы.

Второй начальник. Не понимаю, почему вы так разыгрывали.

Первый начальник. Сейчас я тебе это объясню. Если a и b — это катеты, а c — гипотенуза, тогда a -квадрат плюс b -квадрат равно c -квадрат. Поэтому...

Второй начальник. Теорему Пифагора я и без тебя знаю. Пусть лучше Иванов объяснит, что он делал.

Иванов. Мы, значит, разыгрывали числа от нуля до единицы...

Второй начальник. Я не понимаю, почему разыгрывали от нуля, а не от 0,5?

Первый начальник. Я же тебе объясняю — если a -квадрат плюс b -квадрат равно c -квадрат, то разыгрывать надо от нуля до единицы.

Второй начальник. Что ты все время встречаешь? Я хочу, чтобы Иванов сам все объяснил.

Иванов. Мы, значит, разыгрывали числа...

Петров (с места). Они разыгрывали от нуля до единицы, потому что машина так устроена.

Первый начальник. А ты, Петров, молчи. Будешь говорить, когда дойдет твоя очередь.

Иванов. Мы, значит, разыгрывали...

Второй начальник. Этак мы собрания не кончим, если каждого будем обсуждать по часу.

Первый начальник. Если не можешь объяснить, Иванов, значит нечего тебе и время давать. На следующую неделю ничего не получаешь. Следующим выступает Сидоров.

Сидоров. Я обо всем рассказывал в прошлый раз. Мне надо четыре часа.

Третий начальник. Точно, рассказывал. Я помню.

Первый начальник. Если все помнят, нечего и время терять. Записываем Сидорову четыре часа. Следующим слушаем Кузькина.

Кузькин. Мы обработали десять тысяч событий...

В дверь просовывается секретарь-машинистка.

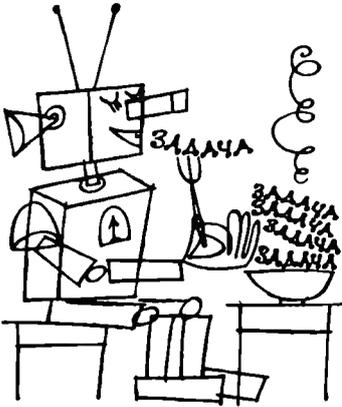
Секретарь. Пришло распоряжение немедленно отправить на благоустройство территории пять человек.

Третий начальник (смотрит в записную книжку). Эти у нас работали вчера, эти позавчера, эти на прошлой неделе... Кузькин как раз и не работал. Назначаю Кузькина на благоустройство территории.

Кузькин. А как же время на машине?

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
МАШИННОГО
ВРЕМЕНИ





Первый начальник. Зачем тебе время, если ты все равно на свежем воздухе будешь работать? Слово имеет Закрутайло.

Закрутайло. Вчера меня встретил в коридоре директор и спросил, как дела.

Второй начальник. Так и спросил?

Третий начальник. Точно, спросил, я сам слышал.

Первый начальник. Вопрос, я думаю, ясен. Записываем Закрутайло шесть часов. (Петров хочет что-то сказать.) А ты, Петров, молчи. Следующей выступает Мария Павловна.

Мария Павловна. Моя задача уже две недели сидит в машине и никак не выйдёт. Если мне не дадут четыре часа, я ухожу в отпуск.

Второй начальник. Куда ехать собираешься?

Мария Павловна. Мы с мужем хотим на своей машине в Крым.

Третий начальник. У вас ведь, кажется, «Москвичи»?

Мария Павловна. «Жигули-1200».

Первый начальник. Давно хотел спросить, где вы прокладки берете.

Мария Павловна. Знакомый из автосервиса устроил.

Первый начальник. Может, он и мне достанет?

Третий начальник. А мне амортизаторы до зарезу нужны.

Мария Павловна. Ну, если только в следующем квартале.

Первый начальник. А если мы тебе время дадим, не поедешь в отпуск?

Мария Павловна. Тогда не поеду.

Первый начальник. А если не поедешь, зачем тебе прокладки и амортизаторы? Значит, договорились. Записываем Марии Павловне четыре часа. А ты, Петров, молчи. И вообще сейчас твоя очередь докладывать.

Петров. За прошлую неделю мы выполнили следующую работу...

В дверь просовывается профорг.

Профорг. Есть один заказ на индийский чай.

Петров, который стоит ближе всего к двери, хватается за заказ и убегает.

Второй начальник. По техническим причинам доклад Петрова не состоится. У кого есть вопросы и замечания?

Поднимается невообразимый гвалт. Слышны отдельные крики: «А мне!» «А почему ему!» «Полчаса — не время!» «Я вообще пять минут прошу!»

Первый начальник. Собрание объявляю закрытым. Подвожу итоги (Достает калькулятор «Электроника». Начинает считать). Что за черт! Получается девятьсот девяносто девять часов. Опять испортился. (Начинает считать на бумажке). Значит, так. Всего заявлено четырнадцать часов. Наш лимит на вычислительной машине пятнадцать минут в день. Будем решать вопрос о распределении времени в рабочем порядке.

Сотрудники сектора молча расходятся.

Занавес.



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 6.08.81
Подписано к печати 25.04.81
Т-22180
Формат бумаги 70×100¹/₁₆
Офсет
Усл.-печ. л. 10,32
Усл. кр.-дт. 2196,0
Уч.-изд. л. 15,2
Бум. л. 4
Тираж 82 000 экз. Зак. 1991

Чеховский ордена Трудового
Красного Знамени полиграфический
комбинат Союзполиграфпрома
Государственного комитета
СССР по делам издательства,
полиграфии и книжной торговли.
г. Чехов, Московской области.



Цена 50 коп.
Индекс 70707

