

ISSN 0032—874X

# 10 ПРИРОДА

1980



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

Академик  
Ю. В. БРОМЛЕЙ

Доктор биологических наук  
А. Л. БЫЗОВ

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

Заместитель главного редактора  
В. А. ГОНЧАРОВ

Доктор физико-математических 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

Академик  
К. К. МАРКОВ

Доктор философских наук  
Н. Ф. ОВЧИННИКОВ

Заместитель главного редактора  
В. М. ПОЛЫНИН

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

Заместитель главного редактора  
доктор биологических наук  
А. К. СКВОРЦОВ

Доктор геолого-минералогических наук  
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора  
кандидат технических наук  
А. С. ФЕДОРОВ

Член-корреспондент АН СССР  
В. Е. ХАИН

Член-корреспондент АН СССР  
Р. Б. ХЕСИН

Академик  
В. А. ЭНГЕЛЬГАРДТ

Доктор биологических наук  
А. В. ЯБЛОКОВ



— символ межправительственной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (The Man and the Biosphere). Этот 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.** Пеликаны на гнезде. См. в номере: Виноградов В. В., Чернявская С. И. Старейший заповедник страны.

Фото Б. К. Машкова.

**На третьей странице обложки.** Дерево какао. Гравюра из книги Марии Сибиллы Мерриан «Метаморфозы суринамских насекомых». См. в номере: Лебедев Д. В. Об удивительной художественно-натуралистке.

**На четвертой странице обложки.** Фаниты — новый тип кристаллов, созданных в ФИАНе, Физической институте им. П. Н. Лебедева АН СССР. На снимке — необработанные кристаллы. См. в номере: Рост кристаллов. Достижения и проблемы (интервью с участниками VI Международной конференции по росту кристаллов).

**В НОМЕРЕ**

НАВСТРЕЧУ XXVI СЪЕЗДУ КПСС		<b>Федоренко Н. П., Лемешев М. Я., Реймерс Н. Ф.</b> Социально-экономическая эффективность охраны природы	2
		Рост кристаллов. Достижения и проблемы (интервью с участниками VI Международной конференции по росту кристаллов)	14
<hr/>			
		<b>АБРАМ ФЕДОРОВИЧ ИОФФЕ</b> К 100-летию со дня рождения <b>Зельдович Я. Б., Харитон Ю. Б.</b> Роль А. Ф. Иоффе в развитии советской ядерной физики и техники	27
		<b>Чудновский А. Ф.</b> А. Ф. Иоффе — создатель Агрофизического института	36
<hr/>			
НАВСТРЕЧУ XXVI СЪЕЗДУ КПСС		<b>Виноградов В. В., Чернявская С. И.</b> Старейший заповедник страны	40
		<b>Викторов А. М.</b> Подмосковный известняк в Астраханском кремле	50
		<b>Липунов В. М.</b> Магнитосфера рентгеновских пульсаров	52
НАВСТРЕЧУ XXVI СЪЕЗДУ КПСС		<b>Алиханян С. И.</b> Успехи и перспективы генной инженерии	62
		<b>Леше А.</b> Спектроскопия ядерного магнитного резонанса	69
		<b>Наливкин В. Д.</b> Все ли мы знаем о нефти?	78
		<b>ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ: ПРОГНОЗ И ПРЕДВЕСТНИКИ</b>	
		<b>Никонов А. А.</b> Успехи и просчеты прогноза землетрясения в Алайской долине	83
		<b>Войтов Г. И., Гречухина Т. Г.</b> Геохимические и гидрогеологические эффекты, сопровождающие землетрясения	90
		<b>Комарова М. В., Штенгелов Е. С.</b> Антропогенные землетрясения в Степном Крыму	96
		<b>Юдин Б. Г.</b> Этика научного исследования	97
		<b>Николай Васильевич Цицин</b>	104
НОВОСТИ НАУКИ			106
КНИГИ, ЖУРНАЛЫ		<b>Гвоздецкий Н. А.</b> К выходу первых томов «Географии Мирового океана» (124). <b>Лебедев Д. В.</b> Об удивительной художнице-натуралистке (125).	
НОВЫЕ КНИГИ			127



## Социально-экономическая эффективность охраны природы

Н. П. Федоренко, М. Я. Лемешев, Н. Ф. Реймерс

### ВСТУПИТЕЛЬНОЕ ЗАМЕЧАНИЕ

Заглавие этой статьи еще совсем недавно, всего каких-нибудь восемь — десять лет назад, многим показалось бы парадоксальным. Такое представление возникло из-за восприятия слов «охрана природы» синонимом консервации, сохранения природных ресурсов в нетронутом виде. Отсюда вытекал подсознательный вывод, что, следовательно, эти ресурсы не вовлекаются в хозяйственный оборот, а раз так, то не может быть речи о какой бы то ни было экономической эффективности, которая может возникнуть лишь в процессе эксплуатации природных благ.

Природа, по К. Марксу, наряду с человеческим трудом, — основной источник общественного богатства. Между ними — природой и трудом — имеется не только прямая связь в процессе производства, но и важная аналогия. Поддержание трудовых ресурсов, их воспроизводство и развитие, как и рациональное использование с сохранением здоровья человека-производителя, дает высокий социально-экономический эффект, необходимый для прогресса общества. Этот тезис осознан людьми давно, а в нашей стране является отражением основных экономических законов социализма. Аналогично и сохранение естественноприродных предпосылок развития хозяйства, воспроизводство и рациональное использование природных ресурсов не может быть убыточным. Оно всегда прибыльно, стоит лишь от сиюминутных выгод перевести взгляд на более или менее отдаленную перспективу. Эта истина пока еще осознана недостаточно глубоко, хотя также должна лечь в основу социалистической экономики.

### ПРИРОДА КАК ИСТОЧНИК РОСТА ПРОИЗВОДСТВА

Любое общественное производство по существу своему есть не что иное, как

преобразование природных ресурсов в потребительские блага для людей. Удовлетворение человеческих потребностей немислимо без эксплуатации природных ресурсов.

Социалистические производственные отношения, основанные на общественной собственности на средства производства и, прежде всего, на природных ресурсы, дают широкий простор для развития производительных сил общества.

Исторический опыт развития показывает, что социалистическая экономика развивается более высокими и устойчивыми темпами по сравнению с капиталистической. С 1950 г. по 1978 г. объем промышленной продукции в мире возрос в 5,9 раза. В то же время в развитых капиталистических странах этот рост составил 3,9 раза, в странах социализма 13 раз<sup>1</sup>.

Особенно высокими темпами в этот период шло развитие добывающих, т. е. природоэксплуатирующих отраслей промышленности.

Ныне Советский Союз занимает первое место в мире по производству нефти, угля, железной руды, стали, кокса, цемента, минеральных удобрений, деловой древесины, по площади обрабатываемых земель, по объему водопотребления и ряду других показателей, связанных с эксплуатацией природных ресурсов<sup>2</sup>.

Вместе с тем объем национального дохода СССР по отношению к США составляет лишь 67%<sup>3</sup>. Отмеченное соотношение в объемах производства и национального дохода в СССР и США дает основание судить о больших резервах повышения эффективности использования добываемых природных ресурсов в народном хозяйстве СССР.

Современный научно-технический потенциал и плановый характер социали-

<sup>1</sup> Народное хозяйство СССР в 1978 году. Статистический ежегодник. М., 1979, с. 48.

<sup>2</sup> Там же, с. 56.

<sup>3</sup> Там же, с. 51.



Николай Прокофьевич Федоренко, академик, академик-секретарь отделения экономики АН СССР, директор Центрального экономико-математического института АН СССР, председатель Научного совета АН СССР по комплексной проблеме «Оптимальное планирование и управление народным хозяйством». Работает в области применения математических методов и вычислительной техники в экономических исследованиях, планировании и управлении социалистической экономикой, в том числе и в сфере природопользования. Лауреат Государственной премии СССР. Основные монографии: Экономика и математика. М., 1967; О разработке системы оптимального функционирования социалистической экономики. М., 1968; Оптимизация экономики. М., 1977; Некоторые вопросы теории и практики планирования и управления. М., 1979.



Михаил Яковлевич Лемешев, доктор экономических наук, заведующий отделом экономических проблем природопользования Центрального экономико-математического института АН СССР. Специалист в области экономических оценок природных ресурсов, планирования и управления процессами природопользования. Основные монографии: Системный подход в экономических исследованиях. Новосибирск, 1971; Комплексные программы в планировании народного хозяйства. М., 1973.



Николай Федорович Ремерс, доктор биологических наук, старший научный сотрудник того же института. Работает в области изучения взаимоотношений человека и природы, социально-экономических аспектов экологии и охраны природы. Автор книг: Птицы и млекопитающие южной тайги Средней Сибири. М.—Л., 1966; Особо охраняемые природные территории. М., 1978 (в соавторстве с Ф. Р. Штильмарком) и др.

стической экономики нашей страны создают необходимые предпосылки для последовательного перехода от экстенсивных способов утилизации природных богатств к интенсивным, т. е. к **ресурсо-сберегающим** малоотходным и безотходным технологиям. Такой поворот в природопользовании тем более необходим, что с освоением малоотходных и безотходных технологий непосредственно связано успешное решение проблемы охраны окружающей природной среды.

Однако эти объективные возможности в практической хозяйственной деятельности реализуются неудовлетворительно. Рост промышленного и сельскохозяйственного производства страны достигается ценой огромного расхода природ-

ных ресурсов, в том числе невозобновляемых.

Особую тревогу вызывает то обстоятельство, что эта сугубо неблагоприятная для нашей экономики тенденция сохраняется и по сей день. За 1971—1978 гг. валовая продукция промышленности росла быстрее, чем произведенный национальный доход.

Отмеченная негативная тенденция усугубляется недостаточным темпом роста сельского хозяйства.

Если учесть, что население страны за этот же период заметно увеличилось, то станет очевидным, что высокие темпы роста промышленности в целом и особенно ее природоэксплуатирующих отраслей



не сопровождалось адекватным ростом фонда потребления.

Нельзя упускать из виду того факта, что в СССР наблюдается опережение темпов роста капитальных вложений по сравнению с темпами роста национального дохода.

Особо следует обратить внимание, что такое соотношение является не просто следствием исторически обусловленных особенностей развития нашей экономики в первые 2—3 послевоенных пятилетия, связанных с восстановлением народного хозяйства и совершенствованием его структуры. К сожалению, она сохраняется и в самые последние годы.

Опережающие темпы капитальных вложений позволили СССР уже к 1970 г. сравняться с США по объему годовых капитальных вложений, а затем и превзойти американский уровень, однако объем промышленной продукции в 1978 г. в СССР все же не достигал желательного уровня.

Высокая капиталоемкость советской экономики в основном обусловлена низкой отдачей в природоэксплуатирующих отраслях. Из общего объема капитальных вложений производственного назначения 20% направляется в сельское хозяйство и более 30% в промышленность группы «А», львиная доля из которых падает на добывающие отрасли<sup>1</sup>.

Низкая отдача капитальных вложений в этих отраслях обусловлена низким коэффициентом полезного использования исходных природных продуктов. Так, потенциальные запасы нефти на эксплуатируемых месторождениях, как правило, извлекаются недостаточно. Потери воды, используемой в орошаемом земледелии среднеазиатских республик, достигают значительной части всего ее объема.

Это сопровождается засолением и заболачиванием староорошаемых земель и огромными затратами на ирригационную подготовку вновь осваиваемых площадей. Потери калийных солей при добыче в недрах и при последующей переработке также еще слишком велики. Усвоение химических питательных веществ, содержащихся в минеральных удобрениях, культурными растениями, как и во всем мире, не превышает 40%. Остальные 60% вымываются из почвы, поступают в водоемы и служат источником их опасного загрязнения. Только отрасль черной металлургии ежегодно выбрасывает в окружающую

среду около 100 млн. т шлаков, некоторые из них, кстати, содержат большое количество ценных компонентов, необходимых для народного хозяйства, в частности цветных металлов.

Эти и аналогичные потери и обуславливают высокую капиталоемкость конечной продукции. Устранение этих потерь требует коренного совершенствования практики планирования процессов природопользования.

## ПРИРОДА И СОЦИАЛЬНОЕ БЛАГОПОЛУЧИЕ ОБЩЕСТВА

Есть и еще одно пока слабо изученное в советской экономике явление — это тесная взаимосвязь между эффективностью, степенью и характером использования природных и трудовых ресурсов. В ряде случаев интенсификация труда в какой-то отрасли неожиданно оборачивается социально-экономическими потерями в общем хозяйственном комплексе. Например, известна высокая экономическая эффективность применения минеральных удобрений, а в некоторых случаях и пестицидов. В южных районах страны без них нельзя получить хороший урожай риса. Рисосеяние — весьма перспективная отрасль сельского хозяйства. Но в курортных районах Северного Кавказа химические удобрения постепенно входят в состав некоторых источников лечебных грязей. Возникает, на первый взгляд, парадоксальное словосочетание — загрязнение грязей. Они делаются непригодными для лечебного использования. Урожай риса оказывается оплаченным не только в традиционном экономическом исчислении, но также невозможностью восстановления здоровья людей, нуждающихся в лечении грязями, выводимыми из оборота. Рекреационные потери ведут к цепи социально-экономических убытков. Назовем лишь две экономические составляющие. Первая — потеря на производительности труда лиц, не прошедших необходимого им лечения. Вторая — падение экономической ценности самого рекреационного комплекса, в который вложены немалые государственные или профсоюзные средства и который мог бы давать реальную экономическую прибыль. Наконец, социальный ущерб совершенно очевиден — дефицит несущих здоровье грязей для группы лиц, нуждающихся в лечении, едва ли будет социально восполнен даже высочайшим урожаем риса.

<sup>1</sup> Там же.

Ряды примеров недополучения социально-экономических эффектов или таких же потерь можно продолжить. В приведенном случае речь идет о невольном конкурентном пользовании природными ресурсами. Второй аспект проблемы составляют те случаи, когда воздействие одних хозяйственных отраслей непосредственно и быстро оказывается убыточным для других, например при промышленных загрязнениях атмосферы, вод и почв. Загрязнения наносят особый ущерб здоровью населения, сельскому хозяйству и тем отраслям промышленности, которые предъявляют повышенные требования к чистоте среды и вовлекаемых в оборот природных ресурсов. Наконец, третий аспект возникает в области сохранения так называемого экологического равновесия.

О нем следует сделать несколько особых замечаний, поскольку экологическое равновесие служит предметом споров. Они возникают из-за недостаточного понимания самого термина. Естественное, или экологическое, равновесие нередко совершенно неверно отождествляется с неподвижностью, полной консервацией, так называемым нулевым ростом, усиленно пропагандируемым некоторыми буржуазными геополитиками. Экологическому равновесию при такой расшифровке противопоставляется целенаправленное преобразование природы, так называемое экоразвитие в интересах человека. При этом совершается двоякая ошибка. Во-первых, равновесие в естественных и экономических процессах отнюдь не означает неподвижности, но лишь динамическую сбалансированность явлений. Остановки развития равновесие не предусматривает. Во-вторых, никакого отношения к «нулевому росту» экологическое равновесие не имеет. Понятие «нулевого роста» относится к совершенно иной области явлений.

Неравновесные естественные системы не могут развиваться. Их удел — разрушение. Поэтому без сохранения экологического равновесия невозможно «экоразвитие» человечества, вероятно лишь экономическая разруха. Например, о каком «экоразвитии» можно было говорить в период жесточайшей засухи начала семидесятых годов в зоне южнее Сахары, называемой Сахелью, приведшей к катастрофическому опустыниванию местности? В этой зоне было потеряно экологическое равновесие настолько, что перестали даже работать гидроэлектростанции из-за нехватки воды в реках. Умирали от жажды люди, погибал скот. Сама же катастрофа глубо-

чайшими своими корнями связана с очень благими социально-экономическими мероприятиями, обернувшимися в условиях непланового хозяйства развивающихся стран трагедией. Экологический дисбаланс был вызван приростом населения и численности скота в совокупности с крайней засухой. Рост населения усилился в результате определенных успехов в борьбе с детской смертностью, а увеличение стад кочевников было итогом положительных экономических сдвигов. Пока не наступила засуха, общее направление развития казалось оптимальным, и оно таким и было, но в экологически тяжелые годы нарушения природного баланса сложилось со сдвигом в ресурсных соотношениях, нагрузки на пастбища превысили допустимые. На месте относительно цветущего края образовалась бесплодная пустыня.

Подобные явления возможны во всех регионах с напряженным экологическим балансом. Но и там, где он пока еще благоприятен для хозяйственной деятельности людей, его можно улучшать, а не ухудшать. Ясно, что наиболее целесообразен вариант улучшения по отношению к ныне сложившейся ситуации. В ряде случаев улучшение возможно только за счет заповедания части площади, организации продуманной системы природных охраняемых территорий, поддерживающих экологический баланс на необходимом уровне. При этом валовой продукт, получаемый с усредненной единицы площади, и в общем исчислении возрастает, компенсирует потерянное на заповедных участках, а затем и превышает объем, получавшийся ранее. Это явление позволяет даже заповеданные земли считать не исключенными из хозяйственного оборота, а вовлеченными в особую форму хозяйства. Следовательно, и консервация природы есть механизм роста, а не сокращения темпов социально-экономического развития. Последний повод для недоумения по поводу социально-экономической эффективности охраны природы, таким образом, исчезает.

На основе исследований советских и зарубежных специалистов в области природопользования можно сформулировать три ныне достаточно очевидных положения.

**Первое. Любое отраслевое природопользование в конечном итоге является конкурентным по отношению к другим природопользовательским отраслям.** Если мы хотим увеличивать социально-экономическую эффективность хозяйства, а любая его отрасль в конечном итоге базируется на природопользовании, мы должны рацио-

нально планировать общий, интегральный процесс эксплуатации природных предпосылок развития общества.

Второе. Естественные и трудовые ресурсы в наши дни находятся в столь тесном единстве, что рассматривать их в отрыве друг от друга уже нецелесообразно. Потери на здоровье людей, на производительности их труда и социальных издержки при неверном ведении хозяйства в природе могут оказаться столь значительными, что суммарные ущербы перекроют как будто бы получаемый хозяйственный эффект. В данном случае вновь неизбежен не узко экономический расчет и даже не изолированная оценка интенсивности эксплуатации природных ресурсов и использования трудового потенциала, а комплексное эколого-социально-экономическое планирование предпосылок общественного развития в целом.

Третье. Преобразование природы, в определенной мере совершенно необходимое для экономического развития, должно быть действительно рациональным, т. е. таким, которое ни в ближайшей перспективе, ни в более отдаленные годы не приводило бы к эколого-экономической разрухе. Такое преобразование возможно лишь при условии учета периодически возникающих наиболее острых ситуаций в соотношении человеческого хозяйства и природы, а также при трезвом определении тенденций в развитии долговременных экологических процессов. Природно-антропогенное экологическое равновесие следует направлять даже на первых этапах не в сторону крайне мало заметной деградации, а в направлении максимального благополучия.

Обратимся вновь к примеру с рисосеянием. Его развитие весьма целесообразно в тех местах, где оно не нарушает экологического баланса. Но проектные организации иногда предлагают орошение явно непригодных для рисосеяния земель. Например, на востоке Калмыкии лежит полупустынная Сарпинская низменность с сетью солоноватых озер. Озера, высыхая, превращаются в солончаки. Земли в основном используются под пастбища. Волгоградские мелиораторы предлагают организовать в Сарпинской полупустыне рисосеяние, направив туда два миллиона кубометров дефицитной волжской воды. Пока осуществление проекта останавливает проблема сброса загрязненных на рисовых полях вод. В заповедный район северного Каспия эту воду сбрасывать не разрешают. Это существенно подорвало бы

ресурсы осетровых рыб. Проектанты предлагают создать водосборное водохранилище, затопив хотя и малопродуктивные, но используемые пастбища. Главного же порока своих предложений они не видят. Рисосеяние безусловно может давать эффект три-пять лет, а затем рисовые чеки превратятся в солончаки. Рис будет оплачен безнадёжной потерей земель из-за их засоления. Причем будут на много лет выведены из оборота как зона рисосеяния, так и просторы мелководного сильно прогреваемого, а следовательно, бедного кислородом водохранилища сбросных вод. Самоочищение воды в нем будет происходить очень медленно, а в случае его высыхания возникнет отравленная мертвая пустыня. Трех-пятилетний эффект будет оплачен потерей пастбищ на многие и многие десятилетия. Рассолить засоленные земли чрезвычайно трудно. Такое с позволения сказать «хозяйствование» явно недопустимо.

Специалисты Центрального экономического-математического института АН СССР (ЦЭМИ) сделали попытку определить в рублях общий дополнительный эффект, который бы имела наша страна при условии достаточного учета природоохранно-экологических параметров в пределах только что сформулированных трех положений. Пока это не точный экономический расчет, а лишь экспертная оценка, как принято говорить, «в нулевом приближении». Однако она производит достаточно внушительное впечатление.

Экономический выигрыш за счет снижения заболеваемости и роста производительности труда в условиях достижения оптимальных параметров качества природной среды за вычетом необходимых затрат на эти цели был бы порядка 15—20 млрд руб. в год. Столь же велики возможности экологического планирования — поддержания экологического баланса. Оно могло бы дать значительный и устойчиво растущий экономический выигрыш, оцениваемый в размере не менее чем 20 млрд руб., за счет роста сельскохозяйственной и рыбной продукции, ресурсов промысла и рекреации, следовательно — экономии валюты и притока ее от иностранного туризма.

Общий экономический прирост, таким образом, оценивается в пределах 35—40 млрд руб. Сюда не входят получаемые социальные преимущества, перевести которые в рубли чрезвычайно сложно, а может быть, и невозможно. Из суммы эксперты исключили также неизбежные при лю-



бых перестройках хозяйства издержки, так что указанная выше сумма представляет собой чистую прибавку совокупного конечного продукта. Даже если наши специалисты ошиблись вдвое, что маловероятно, то и в этом случае числа останутся достаточно впечатляющими.

Конечно, наивно думать, что прирост продукции произойдет немедленно, что только мы примем правильное решение или постановление. Нужно будет как следует поработать и мозгами, и руками. Известно, что деньги сами собой в карман не плывут.

Из всего сказанного следует, что природоохранные мероприятия не ограничиваются, как иногда принято думать, ликвидацией местных ущербов от загрязнения среды, защитой вымирающих видов животных и растений и т. п. действиями, а превращаются в весьма значительный раздел планирования народного хозяйства, предпосылку успешного развития всех трех блоков общественного производства: материального, воспроизводства трудовых ресурсов и природно-ресурсного потенциала. Охрана природы, как охрана существенной части национального богатства страны, пройдя этап общественного движения, превращается и в значительной степени уже превратилась в цель государственной политики, подоснову развития социалистического общества.

Сразу же обратим внимание на не случайно прозвучавшее слово «политика». Хотя мы нередко употребляем это слово при обсуждении внутригосударственных вопросов, все же чаще оно прилагается к делам международным. С природными ресурсами в странах капиталистического мира не все, мягко говоря, благополучно. Энергетический кризис не утихает. По вине капиталистических стран мир все время стоит на пороге нефтяного пожара, причем не на отдельной скважине, а в обширном районе Ближнего и Среднего Востока. И пожар этот не мирный, который тушат пожарные, а военный — он может в любой момент превратиться в глобальный конфликт. Менее заметна, но достаточно остра в настоящее время еще одна ресурсная область международных отношений. То и дело вспыхивают, хотя и «полухолодные», но весьма напряженные «тресковые», «сельдяные» и прочие рыбные «войны». Сорок процентов акватории Мирового океана разделено на зоны экономических интересов стран. Не секрет и те трудности, которые переживает отечественный рыбный промысел. В 1978 г. хотя и было выловлено

рыбы почти столько же, сколько ранее — 9,2 млн т против обычного уровня около 10 млн т<sup>5</sup> — но и трудности рыбников велики, и рыба на прилавках магазинов не радует глаз. Все это нам хорошо известно.

Нет пока никаких указаний на то, что осложнения с природными ресурсами, особенно в капиталистическом мире, ослабнут. Наоборот, специалисты в области глобальной экологии предупреждают, что нехватка минералов, о которой уже давно твердят на Западе, — не самая большая трудность в экоразвитии мира. Наибольшую остроту в ближайшем десятилетии очевидно получат проблемы обезлесения и опустынивания, вообще сведения растительности и связанные с ними атмосферно-климатические и глобально-энергетические вопросы.

Конкретно речь идет о возможном начале истощения ресурсов кислорода, недопустимом увеличении концентрации углекислого газа в атмосфере Земли, который, создавая тепличный эффект, в совокупности с промышленными выбросами энергии и загрязнителей может вызвать неблагоприятные климатические аномалии. Существенным регулятором всех этих процессов служит лес<sup>6</sup>.

Еще совсем недавно нам казалось, что рыбные ресурсы неисчерпаемы. Теперь мы говорим о трудностях в выполнении планов добычи рыбы. Леса нашей страны необозримо, но их ценность не только в древесине и не столько даже в ней, как в самом живом дереве. Советские экономисты подсчитали, что при низких бонитетах большинства наших лесов и их удаленности от транспортных артерий средняя оценка древесины, которую мы можем получить с одного гектара леса, не превышает 500 руб. Зато средообразующие, ресурсоохранные и рекреационные способности наших лесов в среднем оцениваются суммой в 6 тыс. руб на каждом гектаре<sup>7</sup>. Леса СССР пока с лихвой покрыв-

<sup>5</sup> СССР в цифрах в 1978 году. Краткий статистический сборник. М., 1979, с. 102—103.

<sup>6</sup> Круг этих проблем освещен в книгах: Будишко М. И. Глобальная экология. М., 1977; Миланова Е. В., Рябчиков А. М. Географические аспекты охраны природы. М., 1979; Молчанов А. А. Влияние леса на окружающую среду. М., 1973; Никитин Д. П., Новиков Ю. В. Окружающая среда и человек. М., 1980.

<sup>7</sup> См.: Воронков П. Т. Экономическая оценка лесных угодий. Новосибирск, 1976; Тупыця Ю. Ю. Экономические проблемы комплексного использования и охраны лесных ресурсов. Львов, 1976.

вают те ресурсы кислорода, которые забирает отечественная промышленность, в то время как в США эта доля равна 60%; в Швейцарии — всего лишь 25%. В капиталистическом мире не за горами «кислородный голод»<sup>8</sup>.

В настоящее время накопление углекислого газа в атмосфере Земли связано не столько со сжиганием минерального топлива, сколько со сведением лесов. По подсчетам специалистов, уничтожение лесного покрова планеты в 3 раза сильнее влияет на накопление углекислого газа, чем сжигание топлива<sup>9</sup>.

Таким образом, охрана лесов (а это лишь один пример из цепи, которую можно продолжить) приобретает новое, политическое звучание. Пока это не всеми понято, но в ближайшем будущем леса станут рассматриваться как важнейший регулирующий ресурс, прежде всего как очиститель воздуха атмосферы Земли, поставщик кислорода и потребитель излишней углекислоты.

Для того чтобы сжигать еще достаточно большие запасы нефти, газа, а тем более угля, нужен кислород. Мы в нашей стране им обладаем, поскольку владеем обширными лесами. Терять это преимущество на фоне продолжающегося хищнического сведения лесов планеты, идущего со скоростью около 12 млн га, т. е. почти одного процента лесопокрытой площади в год, нельзя ни в коем случае. Это было бы непростительной политической ошибкой, близоруким хозяйствованием.

Леса, как уже сказано, лишь один из примеров. И сохранение генетического фонда планеты — видов растений, животных, микроорганизмов, — и регуляция водности, в том числе с помощью сохранения необходимого количества заповедников, заказников, просто неосушенных болот, и многие другие природоохранные мероприятия ныне оказываются социально-политическими актами не только национального, но и мирового значения. Игнорировать это обстоятельство ни в коем случае нельзя.

Помимо чисто политического значения, эти акты играют важную социально-экономическую роль. Выигрыш нашего государства окажется тем значительнее, чем в большей степени будет сохранена природа страны, ее ресурсы. Этот выигрыш сложится из непосредственного и опосредованного пользования естественными ресурсами, компенсационных плат нашему государству за эксплуатацию ресурсов среды другими государствами-пользователями, утерявшими или не обладавшими достаточными ресурсами этого типа, сохранения среды жизни для людей, поддержания их здоровья, притока средств от продажи права на пользование рекреационными ресурсами, проще говоря, от иностранного туризма. Ясно, что долговременная экологическая политика на разумной основе обладает огромными социально-экономическими потенциалами.

Следовательно, охрану природы необходимо рассматривать как искусство управления сложным комплексом экологических, экономических и социальных составляющих. Одна линия управления идет по отраслевому руслу. Рациональное использование природных ресурсов необходимо в каждой хозяйственной отрасли.

Вторая линия управления тянется от одной отрасли к другой. Отходы, могущие служить сырьем для смежных промышленных отраслей, должны становиться источником доходов, а не убытков.

Третья линия начинается с узко региональных проблем. Одна ее ветвь уводит к решению задачи минимизации загрязнения среды, другая ветвь — к максимальной нейтрализации убыточных последствий конкурентного использования природных ресурсов различными отраслями хозяйства. Эта ветвь, в свою очередь, имеет два направления. Первое связано непосредственно с вовлекаемыми в хозяйство ресурсами, а второе — с рассмотренной выше взаимозависимостью между использованием природных благ и воспроизводством трудовых ресурсов.

Поднимаясь по лестнице все более крупных регионов от локальных их участков к миру в целом, управление средой жизни и использованием природных ресурсов переходит от социально-экономических вопросов к социально-политической стратегии «экоразвития». Подоснова же остается все той же — экологической, природоохранной.

Проблемы охраны природы относятся к той категории вопросов, решение

<sup>8</sup> См.: Давитая Ф. Ф. Изменение газового состава атмосферы и проблемы биосферы. — «Известия АН СССР, сер. географ.», 1973, № 3; Добродеев О. П. Ресурсы свободного кислорода биосферы. — «Природа» 1977, № 4.

<sup>9</sup> Seeliger J., Zimmermeier G. Energiepolitik und das CO<sub>2</sub> — Problem. — «Umwelt», 1979, № 2.

которых усложняется с течением времени. Например, сохранение вида сравнительно еще многочисленного животного или растения не требует особых затрат. Достаточно введения лимитов пользования. Вид, численность которого существенно подорвана неразумной эксплуатацией, можно сохранить и тем более приумножить до промыслового запаса, лишь сделав заметные экономические вложения и весьма ужесточив юридические основы пользования. Восстановление редкого вида до промысловой численности требует длинного ряда лет и столь же длинного списка специальных, порой дорогостоящих мер по воспроизводству. Попытки воссоздать исчезнувший вид пока в экономическом смысле потребовали бы затрат, стремящихся к бесконечности. Это так называемая «дурная бесконечность», поскольку вид живого невосстановим, видимо, даже теоретически.

Следовательно, эффективность природоохранных мероприятий имеет тенденцию к падению со временем. Чем раньше они начинаются и чем интенсивнее проводятся, тем более они рентабельны и успешны.

У природоохранных мероприятий есть и еще одна особенность, правда не слишком оригинальная. Скорее тривиальная. Чем с большим знанием мы подходим к природоохранным проблемам, тем легче, дешевле и практически результативнее достигаются поставленные цели. Сколь низка грамота охраны природы, мы можем наблюдать прямо в Москве. Например, в районе Химки-Ховрино строители и дорожники сделали буквально героические усилия, чтобы спасти старые деревья. В одном месте они построили мощную многометровую стену в два кирпича толщиной, чтобы сохранить рощицу от засыпания земляной насыпью. В другом месте были построены зигзагообразные тротуары, чтобы обойти старые липы и дубы. Пошли на затрату дополнительного кирпича, асфальта, сил и средств. И в обоих случаях все оказалось напрасным. Под кирпичной стеной не догадались сделать водосливной канализации. (Зачем? Ведь вода деревьям полезна!). Деревья были подтоплены вешними и дождевыми водами, и все погибли от вымокания. Зигзагообразные тротуары строили на земляных насыпях, на треть засыпав стволы деревьев. Дорожники не знали того, что учитывали строители. Доступ воздуха к корням прекратился, и гиганты, задохнувшись, засохли.

Приведенный пример частный, но достаточно показательный. Экологи утверждают, что многие проекты, кажущиеся идеальными с технико-экономической точки зрения и как будто безусловно (с позиции обывателя, не специального знания) экологически спасительными; на самом деле ничего, кроме вреда, принести природе не могут. Экономические вложения такого рода, хотя и специально направленные на охрану природы, оказываются напрасными. Так, очевидно, экологически неэффективен проект плотины в Керченском проливе, немного шансов и у многих других крупномасштабных и весьма дорогостоящих проектов, обсуждаемых ныне.

Существенная трудность состоит в том, что накопленные знания об управлении природными процессами недостаточны. Экологи порой опираются лишь на интуицию, и им часто не верят (хотя прямо скажем: интуиция у хорошего специалиста сильнее малых знаний плохого специалиста, а тем более неспециалиста). Мы никак не можем рискнуть создать в стране достаточно мощное специализированное подразделение комплексного, не биологического и не традиционно географического, а новоэкологического, современного профиля. То, что у нас над проблемами охраны природы и среды жизни работают более двух тысяч учреждений, — весьма слабое утешение и оправдание. Правильно говорится, что из тысячи мышей не сделаешь одной лошади. Воз же очень тяжел. Проблему охраны природы не вывезти на мышиной карете.

Если десяток лет назад для решения текущих экологических проблем можно было ограничиться созданием неких подразделений на уровне отделов в академических институтах, то сегодня достаточно серьезно можно обсуждать лишь вопрос об организации специализированных научно-исследовательских центров, типа центров в Черноголовке или в Пущине. Через 5 лет придется говорить уже об экологическом и природоохранном Отделении или даже Секции Президиума АН СССР с большой совокупностью институтов, опытных станций и опорных пунктов. Чем позже мы приступим к созданию таких мозговых центров, тем меньше станут наши прибыли, значительно будут наши потери в природопользовании и тем ниже будет социально-экономическая эффективность природоохранных мероприятий. Экономия сейчас сотни тысяч и отдельные миллионы, мы потеряем десятки миллиардов. И терять будем чем дальше, тем больше.

Один известный американский политик как-то сказал: «Управление является самым созидательным из всех искусств. Это искусство искусств, ибо это искусство организовывать таланты»<sup>10</sup>. Экологические таланты пока используются у нас недостаточно полно, с явно малой социально-экономической отдачей. Происходит это в значительной мере от указанной псевдоэкономии, сковывающей инициативу экологов, не позволяющей им перейти к широким исследованиям, как мы уже подчеркивали, чрезвычайно необходимым и общественно высокоэффективным.

Можно перефразировать афоризм американского политика: «Управление природопользованием, охрана природы — самое созидательное из всех искусств. Это искусство искусств, ибо это искусство сохранения жизни, всестороннего развития людей, созидания человеческого счастья».

Разве этого мало для доказательства высокой социально-экономической эффективности охраны природы?

## ПРИРОДА И ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА

В вопросах оценки экономической эффективности природоохранных мероприятий сложилось любопытное соотношение принципиальных подходов. Эксперты составляют три основные группы.

Первая группа исходит из того, что правильно поставленная охрана природы обеспечивает стабильность или даже значительный общемировой, региональный и локальный прирост экологических ресурсов, куда входят озоновый экран, кислород и углекислый газ атмосферы, очистительная способность экосистем, их водорегулирующие функции и т. п., расширяет рекреационные возможности, снижает убытки от дисбалансов и загрязнений, улучшает общее «качество жизни» людей, что в сумме дает огромный экономический эффект.

Этот эффект, во-первых, складывается из дополнительного прироста лесов, увеличения урожайности сельскохозяйственных культур. Например, предварительные подсчеты, произведенные в ЦЭМИ, показали, что управление экологическим балансом в нашей стране, а именно: разумное сокращение пахотных площадей в тех ме-

стах, где наблюдается перераспашка, и некоторое увеличение их там, где территория не используется полностью, может при снижении посевной площади до 210 млн га против имевшейся в 1978 г. 218,2 млн га, а площади зерновых со 128,5 до 120 млн га дать возможность получения стабильных ежегодных урожаев зерновых в размере 250—280 млн т.

Вторая составляющая эффекта — прирост производительности труда. В целом экологическая оптимизация среды жизни может дать прирост производительности труда не менее, чем на 3%. Достаточно сказать, что городской шум по оценкам французских специалистов снижает производительность физического труда на 30%, умственного — на 60%. Болгарские эксперты оценивают падение производительности труда на 25% с увеличением брака на 12,5% при возрастании шума на 25дБ<sup>11</sup>. Каждый пятый пациент психиатрических больниц Франции потерял рассудок из-за шумового стресса<sup>12</sup>. Если даже не принимать во внимание таких грозных указаний, упомянутые 3% прироста производительности труда в СССР — это примерно 12 млрд рублей.

Прирост зеленой массы растительности нам нужен и сам по себе и для поддержания кислородно-углекислого атмосферного баланса на планете. Необходим он и для рекреации. В лесу мы проводим, вероятно, не меньше времени, чем в кинотеатрах. «Средний» житель европейской части СССР отдыхает в лесу около 58 часов в год, бывая там 13 раз по 4,3 часа, в среднем раз в год устанавливая палатку и 4 раза разжигая костер<sup>13</sup>.

Поскольку к совокупному экологическому ресурсу относится сама возможность существования человека и сохранения его здоровья, природоохранные мероприятия имеют не столь экономическую, сколь социальную окраску. Никто не со-

<sup>11</sup> Канакчиев С. Още за опазването на околната среда. — «Горско стопанство», 1976, № 10.

<sup>12</sup> Кузнецов Н. Н. Социально-экологические проблемы большого французского города. — В кн.: Социально-экологические проблемы капиталистического города. М., 1979.

<sup>13</sup> Тарасов А. И. Отдых населения в европейских лесах СССР. — «Экологические проблемы лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности и лесного хозяйства», 1978, № 7.

<sup>10</sup> Цит. по: Олдак П. Г. Факторы долговременного роста в современном мире. — «Экономика и организация промышленного производства», 1979, № 1, с. 56.

гласится пожертвовать жизнью ни своей, ни своих близких ради иллюзорного экономического богатства. Природоохранные цели в рамках этой группы имеют высший приоритет, а социально-экономическая оценка их эффективности стремится к разумному максимуму.

Экономисты - природопользователи второй группы исходят из строго экономической оценки лишь той части природных ресурсов, которая вовлечена или в ближайшее время может быть вовлечена в хозяйственный оборот. В рамках методологии, принятой в ЦЭМИ, в целом это соотношение реальной цены единицы получаемого ресурса с максимально общественно допустимыми затратами на такую единицу. Подобная рентная оценка не может считаться идеальной, поскольку упускает из виду глобально-экологические и даже отчасти государственно- и локально-экологические цели. Она, как правило, не в состоянии учесть и цепи неизбежных последствий от эксплуатации ресурса. Однако, с чисто экономической точки зрения, такая методология, как и широко принятый за рубежом модельный метод «затраты — выпуск», весьма прогрессивна. Это лучшая пока из имеющихся методик, хотя, повторяем, с социально-экономической и особенно эколого-социально-экономической точки зрения она явно страдает изъянами.

Это можно показать на примере производства электроэнергии на угольном топливе. Помимо оценки основных фондов, ресурсов угля и других составляющих такого производства энергии, следует учитывать длинный шлейф экономических и внеэкономических последствий, не входящих в рентную оценку. Так, для США, по подсчетам корпорации «Ресурсы для будущего», производство 2 трлн квт · ч электроэнергии тепловых электростанциями на угле влечет за собой от 0 до 6000 смертельных случаев от загрязнения воздуха, от 0 до 1250 смертельных случаев от производственного травматизма и профессиональных заболеваний (в том числе силикоза у шахтеров), от 10 тыс. до 1 млн случаев острых респираторных заболеваний у детей, от 60 тыс. до 6 млн хронических респираторных заболеваний, от 600 тыс. до 60 млн человеко-дней жалоб престарелых и от 900 тыс. до 10 млн человеко-дней приступов у астматиков<sup>14</sup>.

М. Горький верно говорил, что за все, что человек берет, он платит собой. И собой не только непосредственно, но и опосредованно. Помимо того, что уже перечислено, 2 трлн квт · ч электроэнергии на угольном топливе приводят к потере от 40 до 80 тыс. га земель (их можно только частично рекультивировать, что стоит больших денег), выбросу в атмосферу 1,6 млрд т углекислого газа, что вызывает нагрев приземного слоя атмосферы на 0,001° и локальные вспышки бронхитов у женщин и детей, плохо переносящих повышенные концентрации этого газа. Следует добавить еще повышение радиоактивности среды, увеличение числа наследственных аномалий, как известно, достигших большой частоты, и т. д. и т. п.

Наконец, третья группа экспертов (в нее входят за рубежом промышленники, а у нас некоторые хозяйственники), полагает, что природоохранные мероприятия не только экономически неэффективны, но и сокращают темпы экономического развития на 10—11%. Любопытно, что за рубежом эта группа экспертов утверждает, что охрана природы снижает занятость, в то время как предыдущая группа говорит об обратном.

Точка зрения этой третьей группы абсолютно ошибочна. Корень зла таится в неумении понять стратегические, долгосрочные законы развития экономики. Природоохранные мероприятия можно сравнить с обновлением основного капитала. Период реконструкции, конечно, всегда задерживает на какое-то время текущее экономическое развитие, но затем позволяет сделать рывок вперед. Те страны, которые не пойдут на «реконструкцию» своего основного экологического «капитала», останутся за бортом экономического развития тем быстрее, чем сильнее поворваны их экологические ресурсы.

Природные ресурсы получают различную экономическую оценку в зависимости от трех рассмотренных доминирующих точек зрения на эффективность охраны природы. Так, из расчетов первой группы экспертов следует (все данные по ФРГ, для которой имеются расчеты трех типов), что соотношение оценки древесины к общественно полезным функциям леса равно 1:250—1:280. Вторая группа оценивает это соотношение как 1:3 (17 млрд марок к 53 млрд марок). Наконец, третья группа близка к оценкам, принятым Отделом леса нашего Госплана СССР, — она считает, что около 65% всей продукции лесов в экономическом исчислении составляет

<sup>14</sup> Unpaid costs of electricity. — «Sci. News», 1979, v. 115, № 7.

древесина. Общая разница в оценках, таким образом, достигает приблизительно 400—450 раз<sup>15</sup>.

Спор, как кажется, может решить наше общение с древесными «братьями меньшими». Средняя вероятная продолжительность жизни человека в городе с древесно-кустарниковым озеленением в размере 1—2% от общей площади населенного пункта в 1,7—2,0 раза короче средней вероятной продолжительности жизни жителя в городе с озелененностью в размере 50% территории<sup>16</sup>. Очень грубо говоря, леса обеспечивают половину продолжительности нашей жизни. Средняя вероятная продолжительность жизни мужчины у нас в стране сейчас около 64 лет. Вульгарно выражаясь, до этого возраста «имеют право» жить лишь сторонники второго, среднего направления в экономике природопользования. Эксперты первого направления «заслуживают» более долгого века. Апологетам третьего направления «уготовлен» смертный срок в 32 года. Больше они не «заслужили».

Воспитание экологического сознания и природоохранных социально-психологических установок должно помочь нам избавиться от нередких пока еще, к сожалению, крупных экологических просчетов, влекущих существенные экономические убытки. Один из путей лучшего планирования природопользования лежит в области верного экологического прогнозирования и управления экологическим равновесием.

Дополнительные 35—40 млрд руб. в год даже без учета социальных преимуществ — огромная сумма. Из нее не менее 1—2 млрд составляет «клад», зарытый в национальных и природных парках. Достаточно сказать, что в США вложения в национальные парки дают 47—55 долл. дохода на 1 долл. затрат — больше, чем в электронной промышленности. В природных парках, где эксплуатация ресурсов ограничена, но не запрещена, доходы бывают еще большими. В 1977 г. водноболотные угодья в штате Мичиган площадью более 42 тыс. га дали чистый доход в размере 57,8 млн долл. Этот доход получен от спортивного рыболовства, рекреации, охоты на водоплавающих птиц, пушно-

го и рыбного промыслов<sup>17</sup>. В условиях нашей страны, вероятно, нет смысла и нужды «выжимать» из природы все соки. Но для целей рекреации ее следует использовать. Деньги можно получать и от спортивного использования промысловых ресурсов. Тем удивительней, что эти деньги некому «поднять с земли», даже толково разработать научные основы организации парков в СССР. Не лучше дело обстоит и с заповедниками, которые составляют ядро сохранения экологического равновесия в стране. Например, не будь Кавказского заповедника, уже, вероятно, пришлось бы опреснять черноморскую воду для снабжения курортной агломерации Сочи или возить эту воду издалека.

Заповедники имеют 28 ведомств-хозяев и фактически полное отсутствие признанного научно-методического руководства. Некоторые из 130 с лишним территорий, числящихся заповедными, — просто фикция, удобная ширма для не слишком благовидных дел, вернее, делишек. Даже биосферные заповедники числом всего в 7 имеют 3 хозяев и в большинстве своем входят в Главное управление по охране природы, заповедникам, лесному и охотничьему хозяйству Министерства сельского хозяйства СССР — ведомства, призванного не охранять, а эксплуатировать природные богатства. Бесспорное дело Министерства сельского хозяйства — снабжать страну продуктами земледелия и животноводства, а не изымать природные ресурсы, хотя и для высших социально-экономических целей, но из традиционного использования. Не может оно организовывать совершенно особый раздел науки и экономики — природоохранный.

Функции заповедников серьезно изменились с 1965 г., когда они были частично переданы в ведение Министерства сельского хозяйства СССР, и даже с 1972 г., когда этому министерству было поручено общее руководство заповедным делом. Мониторинг, биоиндикация, поддержание баланса природной среды — все это явно стоит в стороне от бесспорных и важнейших задач Министерства сельского хозяйства СССР.

Экономическое значение всей системы охраняемых территорий (заповедники, заказники, парки, леса 1-й группы и т. п.),

<sup>15</sup> Реймерс Н. Ф., Штильмарк Ф. Р. Особо охраняемые природные территории. М., 1978.

<sup>16</sup> Дышлевой В. Д., Плехов В. Н. Человек в городе. М., 1978.

<sup>17</sup> Ratha el S. N., Jaworski E. Economic value of fish, wildlife and recreation in Michigan's coastal wetlands. — «Coast. zone manage journal», 1979, v. 5, № 3.



занимающих 8% площади страны, столь велико, что целесообразно рассмотреть вопрос о выделении территориального заповедного фонда в особый земельный фонд наравне с государственным земельным и государственным лесным фондами. Выделение такого фонда пресекло бы поползновение хозяйственников на леса 1-й группы и другие особо охраняемые территории. Кстати, фонд, имевший бы существенное экономическое значение в деле поддержания природного баланса, стал бы одной из экономических основ создания Государственного комитета по охране природы, предложение о создании которого «отпраздновало» в прошлом году свой полувек юбилей.

На первом этапе, безусловно, следует попытаться хотя бы сократить число «хозяев» у заповедников и создать действенный центр для организации национальных и природных парков. Заповедники и парки создаются постановлениями Советов министров союзных республик по согласованию с Госпланом СССР. Очевидно, 15 республик-хозяев заповедников — более чем достаточно. Группу заповедников биосферного значения, несколько расширив их число против нынешнего списка, следует сосредоточить в Государственном комитете СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды — ведомстве, не эксплуатирующем природные ресурсы. Научно-методологическое руководство всей сетью заповедников страны, вероятно, давно могла бы взять на себя Академия наук СССР, теперь уже в содружестве с Государственным комитетом СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды и, конечно, не без участия Государственного комитета СССР по науке и технике. Министерству сельского хозяйства СССР, вероятно, целесообразно сосредоточить свое внимание на близких к его деятельности типах природных особо охраняемых территорий — прежде всего полях и почвозащитных лесах, дающих принципиальную возможность увеличить урожайность полей в зависимости от культуры на 9—23% от ныне имеющихся уровней<sup>18</sup>. Есть огромное количество других вопросов, которыми с большим экономическим успехом могло бы продолжаться заниматься Министерством сельского хозяйства СССР и его Главное управление по охране приро-

ды, заповедникам, лесному и охотничьему хозяйству с Институтом охраны природы. Тут и рекультивация земель, и воздействие пестицидов на природу, и влияние сельскохозяйственной техники (в том числе агротехники) на фауну и многое другое.

Лесным ведомствам совместно с охотничьими и ВЦСПС следовало бы, наконец, централизованно решить проблему организации национальных и природных парков.

Наша страна в результате прозорливости отечественных ученых начала века и принятия ленинских принципов охраны природы имеет неоспоримое преимущество перед большинством зарубежных государств в деле сохранения заповедных земель. Если мы не примем мер к упорядочению системы особо охраняемых природных территорий, мы потеряем миллиарды рублей, указанное неоспоримое преимущество перед зарубежными государствами, просто свое лицо перед мировой и советской общественностью.

Охрана природы в широком смысле слова один из самых высокодоходных секторов экономики. Она глубоко социально оправдана. Охрана природы — это действенный гуманизм, ибо без сохраненной природы невозможна жизнь человека. Только последнего вполне достаточно, чтобы признать за охраной природы абсолютный приоритет во всей человеческой деятельности.

#### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Гофман К. Г., Лемешев М. Я., Реймерс Н. Ф. СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ. — «Экономика и математические методы», 1973, т. IX, вып. 5

Лавров С. Б. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В КАПИТАЛИСТИЧЕСКИХ СТРАНАХ. М., 1978.

НОВЫЕ ИДЕИ В ГЕОГРАФИИ. Вып. 3. Экология и экономика. М., 1977.

Олдак П. Г. СОВРЕМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА. Новосибирск, 1979.

Олдак П. Г. СОХРАНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И РАЗВИТИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ. Новосибирск, 1980.

ПРИРОДА И ЭКОНОМИКА. М., 1975.

Реймерс Н. Ф., Штильмарк Ф. Р. ОСОБО ОХРАНЯЕМЫЕ ПРИРОДНЫЕ ТЕРРИТОРИИ. М., 1978.

Федоренко Н. П. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ В СИСТЕМЕ СОЦИАЛИСТИЧЕСКОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА. М., 1979.

<sup>18</sup> Константинов А. Р., Струзер Л. Р. Лесные полосы и урожай. Л., 1974.

## Рост кристаллов. Достижения и проблемы

В сентябре в Москве состоялась Шестая международная конференция по росту кристаллов. В ней приняло участие около 1200 специалистов, в том числе 300 зарубежных ученых более чем из 20 стран. Наш корреспондент А. И. Антипов встретился с группой советских участников конференции, которые любезно согласились рассказать читателям «Природы» об этой бурно развивающейся области науки. По нашему мнению, публикуемый материал позволяет составить представление о современном ее состоянии, хотя, конечно, в рамках интервью нет возможности коснуться всех проблем, обсуждавшихся на конференции.

В беседе приняли участие академик Б. К. Вайнштейн, директор Института кристаллографии им. А. В. Шубникова АН СССР (председатель Советского оргкомитета конференции), а также видные специалисты в этой области доктора физико-математических наук А. А. Чернов (председатель Программного комитета конференции), Х. С. Багдасаров, Е. И. Гиваргизов, М. Г. Мильвидский, В. В. Осико и кандидат технических наук В. Т. Хряпов.

**Корр.** Последние десятилетия выдвинули кристаллографию в число наиболее интенсивно развивающихся отраслей знания. Широко известно, что не только многие современные научные исследования, но и развитие ряда новых отраслей промышленности опираются на достижения кристаллографии. Чем обусловлен такой острый интерес к науке, основы которой были заложены еще в XVIII в.?

**Б. К. Вайнштейн.** Дело в том, что диапазон различных характеристик кристаллов чрезвычайно широк. Например, если посмотреть только на размеры, то существуют крупные монокристаллы высокой однородности величиной до десятков и сотен сантиметров и микрокристаллы или кристаллические слои с переменной структурой, характерные размеры которых составляют микроны. Кристаллы тугоплавких окислов и некоторых металлов устойчивы до температур 2—3 тыс. градусов, в то время как кристаллы гелия существуют лишь при повышенных давлениях и

чрезвычайно низких температурах — порядка нескольких градусов Кельвина. Уникальна по прочности решетка алмаза, а есть и жидкие кристаллы, вообще не обладающие решеткой, но, благодаря строго определенной ориентации молекул, по своим физическим свойствам похожие на твердые кристаллы. Кристаллические или близкие к ним по упорядоченности структуры все чаще обнаруживаются в объектах живой природы, и если бы молекулы белков не складывались в кристаллы, кристаллография не раскрыла бы их строения, а с ним и устройства двойной спирали ДНК, механизма работы антибиотиков и гемоглобина.

Кристаллы могут служить естественными индикаторами и преобразователями самых разнообразных внешних воздействий — механических, электрических, оптических, магнитных, тепловых и т. п.

Уже этот беглый обзор разнообразных свойств кристаллов говорит о том, что кристаллы могут иметь широчайшее

практическое применение. А это с неизбежностью приводит нас к тому, что их необходимо не только изучать, но и создавать.

Сама кристаллизация — одно из самых распространенных явлений природы. Его изучение связано с проникновением во многие фундаментальные области физической и физико-химической кинетики, с освоением которых развивается сегодняшняя технология выращивания кристаллов.

**Корр.** Именно этому и была посвящена Международная конференция в Москве. Можно ли кратко охарактеризовать круг проблем, обсуждавшихся на столь представительном собрании?

**А. А. Чернов.** Задача не простая. Сейчас по проблеме роста кристаллов выходит около 2500 публикаций в год, а в ежегодном списке авторов примерно 6000 фамилий, причем это касается только выращивания монокристаллов. Существуют еще и работы по металлургии и массовой кристаллизации, обеспечивающей производство удобрений, лекарств, сахара.

Научно-технической революции потребовались кристаллы совершенные, а кристаллизация — явление исключительно капризное. Действительно, кое-как закристаллизовать низкотемпературный расплав или осадить мелкий кристаллический осадок из пара или раствора сравнительно легко. Совсем другое дело — заставить разнообразные атомы, числом  $10^{23}$  —  $10^{27}$ , уложиться в одну решетку безошибочно или почти безошибочно за сравнительно небольшое (от нескольких часов до месяцев) время. Отсюда жесткость требований к надежности процесса кристаллизации. Здесь нужно ясное понимание самого процесса и причин, которые «сбивают» укладку атомов с регулярного хода. Кроме того, необходимо знать, отчего может «испортиться» выросший кристалл уже в кристаллизационной установке.

Как любил говорить академик Алексей Васильевич Шубников, положивший начало изучению проблем роста кристаллов, основатель Института кристаллографии АН СССР, «каждый атом кристалла был когда-то на его поверхности». Именно здесь атом или молекула после сотен тысяч, а зачастую и миллионов неудачных попыток становятся «членом» кристаллической решетки. Поэтому на ход кристаллизации влияют буквально миллионные или даже десятимиллионные атомные доли примеси, воздействия электрических по-

лей и токов, ионизирующие излучения. Сплошь и рядом растущая поверхность живо реагирует на такие изменения условий, которых не чувствуют сегодняшние приборы.

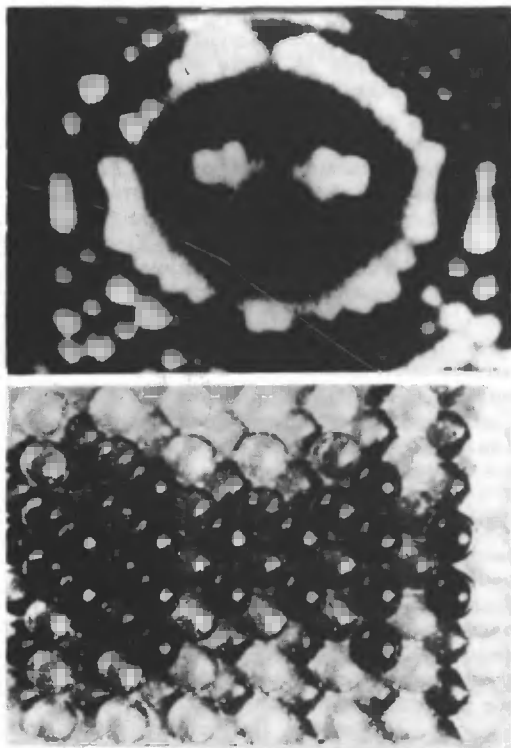
Кристаллизация сопровождается многочисленными химическими реакциями, переносом вещества, теплоты и зарядов в объемах обеих превращающихся друг в друга фаз, конвекцией в жидкостях и газах, пластическим течением и фазовыми превращениями в самом образующемся кристалле. Поэтому исследование процессов кристаллизации — сложная и интересная задача, а практика выращивания до сих пор носит элементы искусства. Однако, как показала конференция, этих элементов становится все меньше.

**Корр.** С явлением кристаллизации все знакомы еще по школьному курсу физики; многие, не владея даже никаким особым искусством, выращивали кристаллы медного купороса, помещая в пересыщенный раствор укрепленный на проволочке кристаллик — зародыш. Но как спонтанно зарождаются кристаллы в объеме раствора или расплава?

**А. А. Чернов.** При образовании кристаллического зародыша в газе, растворе или расплаве вместе с зародышем возникает и поверхность его раздела с этими фазами. С энергетической точки зрения, в переохлажденном состоянии кристаллическая фаза более выгодна, чем раствор или расплав: упорядочение частиц уменьшает свободную энергию системы. Но возникновение поверхности раздела между упорядоченной и неупорядоченной фазами связано с увеличением свободной энергии.

Если упорядоченный зародыш мал, то доля поверхностных атомов заметна по сравнению с полным их числом в зародыше. Поэтому проигрыш в энергии от образования поверхности больше выигрыша от упорядочения частиц в объеме зародыша, и зарождения не произойдет, если только переохлаждение не станет достаточно большим, а итоговый проигрыш — малым. Действительно, хорошо очищенные расплавы многих веществ удаётся переохладить до температур, составляющих около 70% от абсолютных температур плавления соответствующих кристаллов. Например, никель ( $T_{пл} = 1726$  К) переохлаждается на  $480^\circ$ , вода — на  $40^\circ$ .

Кристаллизация в отсутствие зародышей, или, иными словами, гомогенное зарождение — процесс вероятностный.



Образование кристаллов одного какого-либо вещества (кристаллизанта) на поверхности другого (подложки).

Практически для любых пар веществ существуют условия, при которых кристаллизант нарастает в некотором определенном направлении относительно подложки — имеет место так называемая эпитаксия. Если упаковки атомов в кристаллизанте и подложке сходны, а энергия взаимодействия этих атомов через плоскость срастания достаточно велика, то атомы растущего кристалла могут просто продолжать решетку подложки, хотя в свободном кристалле расстояния между ними должны были бы отличаться от расстояний в подложке.

На снимке сверху — два светлых островка — зародыши эпитаксиальной платиновой пленки мономолекулярной толщины на плоскости (011), венчающей иридиевое острие монокристалла. Внизу — модель той же картины из белых (I) и черных (P) шариков. Концентрические кольца из светлых пятен на верхнем снимке — монокристаллы ступени иридиевого острия.

Эпитаксиальное наращивание тонких монокристаллических слоев разных полупроводниковых веществ друг на друге и на кристаллах диэлектриков — главный процесс в изготовлении приборов современной микроэлектроники. От качества срастания и возникающих при этом дефектов зависят параметры и надежность приборов.

Воспроизведена фотография из работы: Murr L. E., Inal O. T., Singh H. P. «Thin Solid Films», 1972, v. 9, № 2, p. 241—256.

Опыты с мелкими (десятки микрон в диаметре) капельками олова показали, что действительно капельки кристаллизуются в случайные моменты времени.

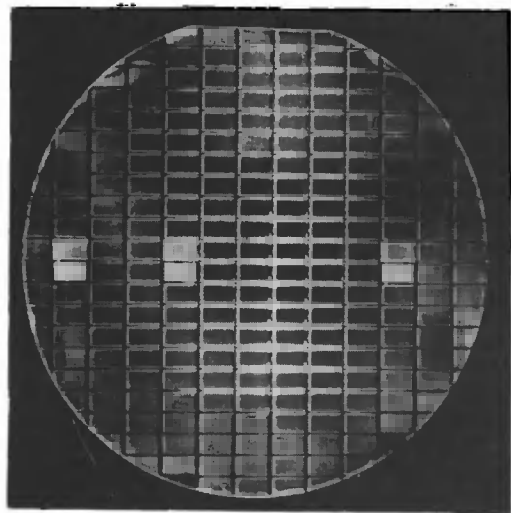
Диаметр зародыша в расплавах, переохлажденных на  $(0,2—0,3) T_{пл}$ , составляет 1—3 нм. Вместе с тем, по данным рентгеновской дифракции, в некоторых расплавленных металлах (Pb, In, Au) существует ближний порядок в расположении атомов, и размеры областей, в которых существует ближний порядок, составляют 2—3 нм. Поэтому давно возник вопрос: а не могут ли области ближнего порядка после некоторой перестройки служить центрами зарождения кристалла?

Недавние исследования показали, что, по-видимому, это не так. Оказалось, что капельки галлия ( $T_{пл}=302$  К) удается переохлаждать до 150 К, т. е. до  $0,5 T_{пл}$ , значительно глубже, чем предсказывает классическая теория (примерно на  $0,3 T_{пл}$ ). В расплаве при температуре, равной  $0,5 T_{пл}$ , критический зародыш должен иметь в диаметре всего 0,7 нм и состоять из 10 атомов. Это уже меньше областей ближнего порядка в расплаве, поэтому они вряд ли могут служить зародышами, а само понятие макроскопической фазы и поверхностной энергии к ним не применимо.

Возможны, однако, такие перестройки микрообластей, что взаимное расположение в них частиц будет более близким к кристаллическому состоянию. Действительно, эксперимент показывает, что при замерзании сильно переохлажденных капель галлия образуются по крайней мере пять метастабильных модификаций. Некоторые из кристалликов льда, образующихся при больших переохлаждениях из водных растворов, также не имеют привычной гексагональной упаковки молекул. Ответа на вопрос о том, почему расплавы переохлаждаются сильнее, чем следовало бы ожидать из классической теории, пока нет. Дело, по-видимому, в том, что малые агрегаты не могут служить зародышами макрофазы, так как их характеристики мало отличаются от параметров расплава.

**Корр.** Известно, что решение многих сложных задач, имеющих, на первый взгляд, чисто теоретический интерес, приводит попутно к получению практически важных результатов...

**А. А. Чернов.** Это действительно так, и кристаллография не является исключением. Например, вопрос о том, есть ли



Монокристалл кремния. Масса отдельных образцов достигает 30—40 кг, длина 1—1,5 м, диаметр 10—15 см (вверху). Интегральная схема, созданная на основе кремния (внизу). Каждая ячейка схемы размером  $2 \times 4$  см<sup>2</sup> содержит 16 тыс. активных элементов. Для изготовления таких схем монокристаллы полупроводников разрезают на пластины толщиной в несколько сотен мкм.

предел переохлаждению, оказался практически важным для материаловедения. Исследования показали, что с понижением температуры тепловое движение становится все более вялым и в конце концов его может не хватить для того, чтобы атомы или молекулы сумели перейти от беспорядка к порядку. В результате будет заморожена неупорядоченная структура — возникнет стекло. Примером могут служить обычные силикатные стекла. Менее 20 лет назад удалось впервые получить аморфные металлы. Правда, пока все они представляют собой сплавы и соединения, а не элементы.

Аморфные металлы, или металлические стекла, замечательно противостоят коррозии, а ферромагнетики легко намагничиваются до высоких значений магнитной индукции (по сравнению с кристаллическими модификациями), с малыми потерями перемагничиваются, так что могут оказаться очень эффективными в сердечниках трансформаторов. При этом они обладают высокой механической прочностью и пластичностью. Понятно, что все эти свойства исключительно интересны именно с практической точки зрения.

**Корр.** Но вернемся к кристаллам. Та революция в электронике, о которой теперь так много говорят даже неспециалисты, безусловно связана с широким внедрением полупроводников. Что в развитии этой отрасли производства кристаллов сегодня особенно характерно и актуально?

**М. Г. Мильвидский.** Широчайший круг практических применений полупроводников предъявляет высокие и разнообразные требования к свойствам используемых кристаллов. Эти требования далеко не всегда могут быть удовлетворены такими полупроводниками, как германий и кремний. В практику вошли и бинарные полупроводниковые соединения элементов третьей и пятой, второй и шестой, четвертой и шестой групп Периодической системы Менделеева. Всесторонне исследуются в лабораториях еще более сложные соединения, в состав которых входят три и более элементов. Большое разнообразие материалов — характерная особенность полупроводниковой техники наших дней.

Однако, для того чтобы полупроводник полностью проявил свои ценные качества, необходима, прежде всего, его предварительная глубокая очистка даже от самых ничтожных следов электрически активных примесей. Содержание приме-

сей в полупроводниковых материалах не должно превышать  $10^{-8}$ — $10^{-10}$ . Всего один атом примеси на каждые 10 млрд атомов основного вещества! Это фантастическая чистота! Недаром сегодня термин «продукт полупроводниковой степени чистоты» характеризует наивысшую степень очистки. Только сочетание современных химических, физико-химических и кристаллофизических методов рафинирования позволяет успешно решать эту труднейшую задачу.

Рафинирование и обработка полупроводников сопряжены с использованием большого количества вспомогательных реактивов и материалов, к чистоте которых, как правило, предъявляются не менее жесткие требования. Вода после многократной дистилляции, с точки зрения нужд полупроводниковой техники, еще не является достаточно чистой и должна дополнительно очищаться с помощью ионообменных смол. Дополнительной глубокой очистке подвергаются и чистые, в обычном понимании, кислоты, щелочи, органические растворители. Изделия из природного кварца содержат значительное количество примесей и заменяются изделиями из синтетического кварца особой чистоты с минимальным содержанием не только металлических, но и газовых примесей. В ряде случаев приходится идти и на замену синтетического кварца и применять изделия из таких совсем еще недавно казавшихся экзотическими материалов, как особо чистые нитриды бора и алюминия.

И все же как бы ни был чист полупроводник, если он имеет поликристаллическую структуру, его свойства резко ухудшаются. Поэтому не менее важная задача — разработать надежные методы выращивания монокристаллов полупроводниковых материалов. Наиболее часто при этом используют кристаллизацию из расплава как наиболее производительный метод. Потребовались годы напряженного труда, чтобы от искусства отдельных умельцев перейти к научно обоснованной технологии получения высококачественных монокристаллов. Разработаны и продолжают разрабатываться принципиально новые, эффективные методы выращивания монокристаллов из расплава, в том числе и бестигельные с применением нагрева сопротивлением, токами высокой частоты, электронным и световым лучом. От образцов с размерами в миллиметры до монокристаллов длиной более чем в метр и весом в несколько десятков килограм-

мов — такой путь проделала полупроводниковая металлургия менее чем за три десятилетия.

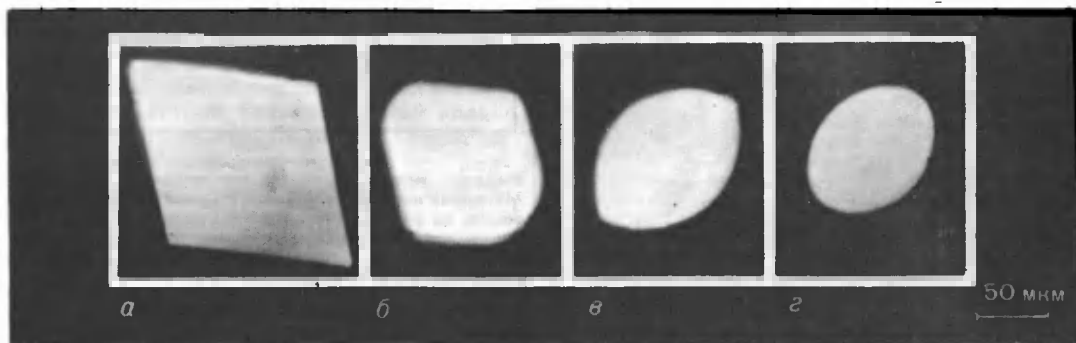
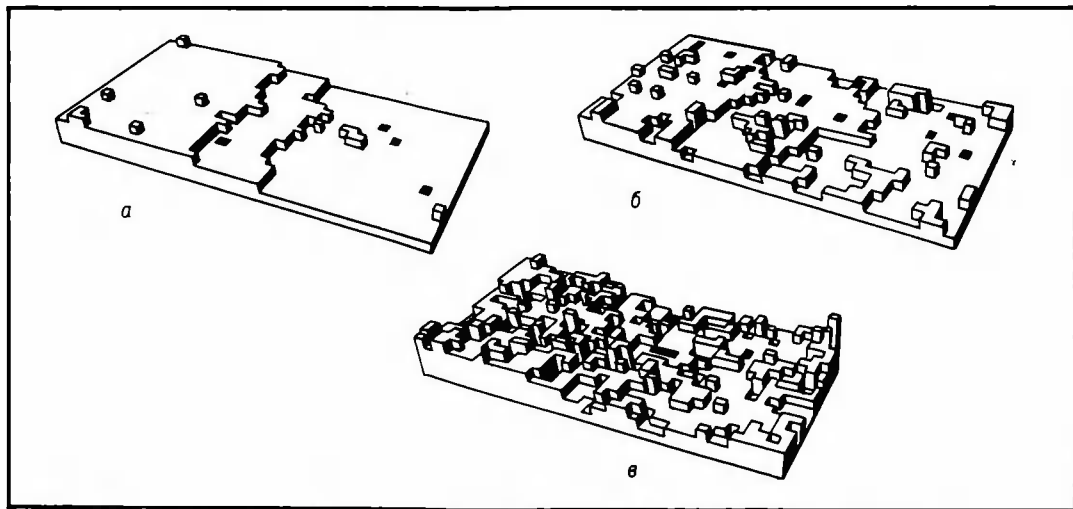
**Корр.** Говоря о чистоте полупроводников, мы должны помнить, что богатые возможности их применения обеспечиваются введением в кристалл примесей. Именно это позволяет целенаправленно изменять свойства полупроводниковых материалов. Известно, что количество примеси в растущем кристалле определяется ее концентрацией в той среде, в которой происходит рост кристалла, и температурой. Вносит ли кристаллизация что-либо необычное в это термодинамическое правило?

**А. А. Чернов.** Да, конечно. Разные грани кристалла захватывают разное количество примеси в зависимости от того, с какой скоростью они растут. В результате кристалл получается неоднородным — он разбивается на пирамиды, образующиеся в ходе роста отдельных граней, а каждая из пирамид разбивается на параллельные грани, слои, которые «помнят» о той скорости, с которой они образовывались. Эта «память» как раз и заключена в концентрации примесей в слое. Иногда материал «помнит» даже о направлении роста грани.

Такой захват примеси определяется уже не только термодинамикой, а динамикой кристаллизации, а она, в свою очередь, зависит от состояния поверхности. Поверхность может быть гладкой или шероховатой в атомном масштабе. Понятно, что чем слабее связи между частицами на поверхности кристалла, тем легче тепловые колебания разрушают их упорядоченность в направлении, перпендикулярном к поверхности. Атомно гладкие грани растут в результате последовательного отложения на них атомных слоев, т. е. кристаллизация идет только на торцах незавершенных атомных плоскостей — ступенях. На шероховатых поверхностях новые частицы встраиваются в кристаллическую решетку почти в любой точке. Появление зародыша нового слоя на атомно гладких гранях требует заметных переохлаждений, грани в процессе роста остаются плоскими, а кристалл приобретает форму многогранника. Напротив, шероховатая поверхность повторяет форму изотермы кристаллизации, и потому обычно округла.

Теперь можно вернуться к захвату примесей. Если ввести в расплав дополнительный компонент, то меняется поверхностная энергия кристалла и средняя





Пример моделирования равновесной атомной структуры поверхности кристалла на ЭВМ для трех отношений температуры и энергии межатомного взаимодействия, увеличивающихся от (а) к (б) — в в е р х у. Моделирование состоит в переборе всех атомных конфигураций поверхности и определении в результате структуры с минимальной свободной энергией. Атомно гладкая поверхность (а) состоит из трех террас, разделенных двумя ступенями монокристаллической высоты. Ступени изломаны тепловыми флуктуациями, переводящими атомы из ступени в ступень и обратно. С повышением температуры или уменьшением энергии взаимодействия ступень «размазывается» по поверхности все сильнее (б), пока не займет ее целиком — происходит двумерный фазовый переход к атомно шероховатой структуре (в). Переход может происходить из-за изменения средней энергии межатомного взаимодействия при изменении состава расплава и кристалла, что экспериментально обнаруживается по изменению формы кристалла. Кристаллы с атомно гладкими гранями растут ограниченными, а с шероховатыми — округлыми. На серии фотографий в и з у показан такой переход на кристаллах нафталина, растущих из сплава с пиреном, по мере увеличения концентрации последнего (от а к г).

энергия связи между его частицами, находящимися на поверхности. В результате поверхность может превратиться из атомно гладкой в шероховатую или наоборот. Этот эффект, ранее предсказанный теоретически, недавно был обнаружен экспериментально.

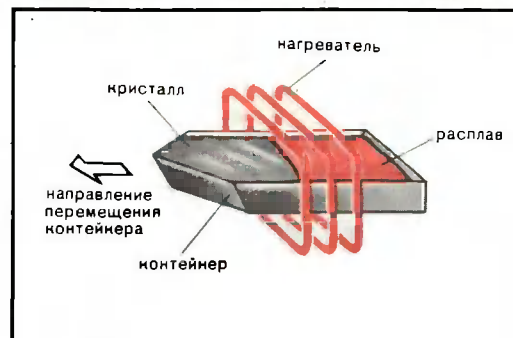
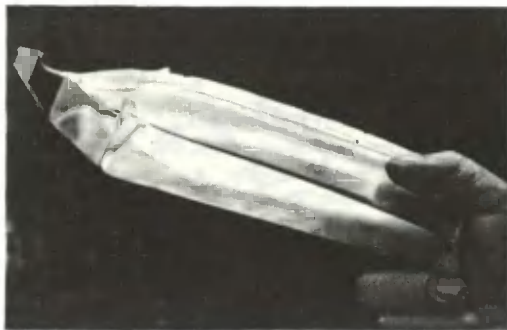
Количество примеси в поверхностных слоях разных граней кристалла неодинаково даже при равновесии кристалла со средой. Окончательное же «замурование» примесной частицы в данный узел кристаллической решетки другими атомами или молекулами происходит путем «естественного» статистического отбора, в результате многочисленных проб и ошибок. Чем больше скорость роста, тем менее тщателен этот отбор, тем лучше «помнит» кристалл о составе и состоянии его образовавшейся поверхности.

В частности, атомные плоскости на плоскольно растущих из расплава гладких гранях застраиваются с огромными скоростями (порядка десятков см/с), хотя



Зонарное (слоистое) и секториальное распределение дефектов в синтетическом кварце. Количество и характер дефектов в образующемся материале существенно определяются поверхностными процессами кристаллизации, а потому зависят от скорости роста и кристаллографической ориентации той поверхности, при росте которой формируется данный участок объема.

В частности, кратковременное увеличение скорости роста, вызванное флуктуацией пересыщения у поверхности, ведет к увеличению в кристалле кварца числа коллоидных включений гидротермального раствора (размером 10—100 нм), из которого растет этот кристалл. В результате «память» о повышенной скорости роста остается в кристалле в виде обогащенных включениями слоев, которые повторяют внешнюю форму растущего кристалла. Сечения этих слоев и видны как белые полосы на фотографии. Свободные от включений темные области росли со скоростями, заметно меньшими той критической, начиная с которой захватываются включения. Включения обрамляют также затравку — прямоугольник в центре кристалла. На фотографии видно также, что кристаллографически разные грани захватывают разное число включений. Это число меняется даже при изменении ориентации растущей поверхности на несколько градусов. Поэтому вслед за холмиками на растущей поверхности в теле кристалла видны «плинья», отличающиеся по плотности включений от соседних участков.



Выращивание кристаллов в «лодочке» — вверху. Материал плавится в печи и остывает по мере выдвижения из нее лодочки. Зародившись в «сноске» лодочки, монокристалл постепенно занимает весь ее объем. Это один из способов получения крупных пластины сапфира — внизу.

вся грань в целом при этом смещается со скоростью около мм/ час. Столь же медленно растут одновременно существующие на кристалле шероховатые поверхности. Ясно, что на них застройка решетки идет более «аккуратно», чем при быстрой застройке атомных плоскостей. Отсюда и разное количество захваченной примеси. С этим явлением приходится считаться при выращивании полупроводников — кристалл вырастет неоднородным, если не добиться, регулируя тепловые поля в установке, чтобы фронт кристаллизации не содержал округлых шероховатых участков.

**Корр.** Применение полупроводников в электронике основано на способности этих кристаллов генерировать и преобразовывать излучение широкого диапазона длин электромагнитных волн. Но в самом начале мы говорили о более широком спектре свойств различных кристаллов. Какие еще

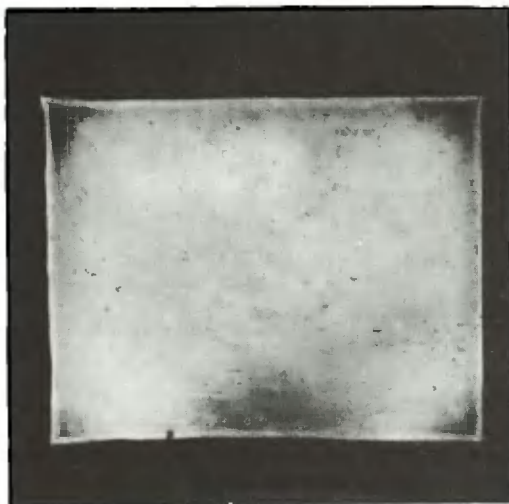
Потеря устойчивости кристалла. Вершины, ребра и грани кристаллического многогранника, растущего из раствора, питаются кристаллизующимся веществом по-разному — пересыщение наибольшее на вершинах и наименьшее в центрах граней. В результате многогранная форма кристалла теряет устойчивость; последовательные стадии потери устойчивости кристалла  $Pb_3NiNb_2O_9$  показаны на снимках — с в е р х у в н и з.

из этих свойств привлекают особенное внимание специалистов?

**Х. С. Багдасаров.** Здесь уже упоминались тугоплавкие монокристаллы. В силу особых механических и химических свойств они весьма перспективны в качестве конструкционных материалов, поскольку способны выдерживать воздействия высоких температур и давлений, проникающей радиации и химически агрессивных сред. Тугоплавкие монокристаллы составляют основу элементной базы квантовой электроники, их конструкционные свойства используют в микроэлектронике, при конструировании ядерных реакторов в энергетике.

Потребность в тугоплавких монокристаллах стимулировала развитие такого направления кристаллофизики, как высокотемпературная кристаллизация, которая имеет дело с процессами плавления и кристаллизации в области  $2000^\circ\text{C}$  и выше. Успешное развитие этого направления тесно связано с физикой, химией и техникой высоких температур. Приведу только два примера такой связи.

К сожалению, подавляющее большинство тугоплавких веществ при расплавлении термически диссоциируют, в результате чего ионный состав расплава и атмосферы над ним существенно изменяется. Продукты термической диссоциации, по существу, представляют собой примеси, изменяющие физико-химические свойства расплава и его окислительно-восстановительный потенциал. При кристаллизации эти продукты зачастую выделяются на фазовой границе и захватываются растущим кристаллом. В подавляющем большинстве тугоплавких диэлектриков, например, они образуют газовые включения, вызывающие интенсивное рассеяние света в кристаллах. Была проделана огромная работа, чтобы оказалось возможным учесть эти явления при выращивании, например, сапфиров.



Для получения высокооднородных монокристаллов необходима особая стабильность и морфологическая устойчивость фазовой границы в течение всего процесса выращивания. Даже ничтожные температурные флуктуации (порядка десятых долей градуса при температуре  $2000^{\circ}\text{C}$ ), обусловленные конвекцией расплава или недостаточной стабильностью источника нагрева, вызывают изменение скорости кристаллизации, тем самым способствуя образованию дефектов. Чтобы добиться высокой стабильности условий роста, необ-

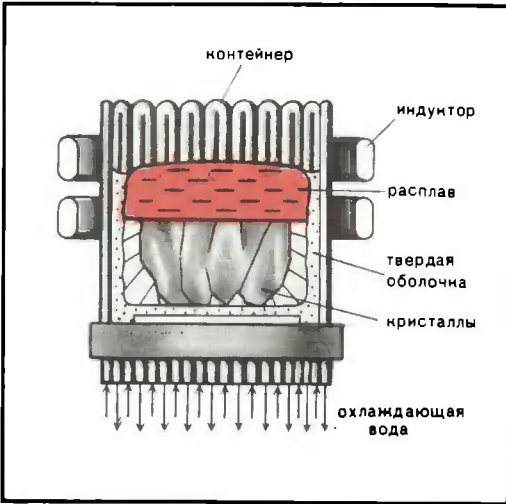


Схема установки для выращивания фианитов. Процесс образования фианитов происходит при температурах около  $3000^{\circ}\text{C}$ . Расплав заключен в оболочку твердой фазы того же химического состава. Трубчатый водоохлаждаемый контейнер предохраняет твердую оболочку от проплавления. Энергия, необходимая для плавления материала и поддержания его в расплавленном состоянии, подводится индукционно с помощью токов высокой частоты. Кристаллизация расплава происходит в результате медленного опускания контейнера с расплавом относительно индуктора. Камера печи предохраняет оператора от теплового излучения и высокочастотного поля.

ходимо детальное исследование распределения температур и тепловых потоков в системе. Задача эта сложная, а в случае тугоплавких оптически прозрачных кристаллов ее решение усложняется еще и тем, что к обычной теплопроводности добавляется лучистый перенос, зависящий от свойств и формы кристалла и установки, в которой он растет. Численное решение такой задачи показывает, сколь существенно влияние лучистого теплообмена между

стенками прозрачного кристалла на формирование температурного поля и тепловых потоков в нем. Степень этого влияния зависит от радиационных характеристик внутренних поверхностей кристалла. Для серых стенок, например, оно значительно выше, чем для абсолютно черных.

**Корр.** По-видимому, одним из важных достижений высокотемпературной кристаллизации следует считать открытие и промышленное производство нового класса кристаллов — фианитов?

Как известно, группа ученых, разработавших метод выращивания этих кристаллов, столь нужных как в промышленности, так и в научных исследованиях, удостоена Ленинской премии за 1980 г.

**В. В. Осико.** Фианиты — это кристаллы на основе оксидов циркония и гафния. Они исключительно тугоплавки ( $2700$  и  $2800^{\circ}\text{C}$ , соответственно), и именно поэтому получить их путем кристаллизации из расплавов было очень нелегко. Нелегко, несмотря на то что физико-химические основы их получения (способы стабилизации кубической фазы, конгруэнтный характер кристаллизации, поведение в различных окислительно-восстановительных условиях при высоких температурах) в общих чертах были уже известны. Чтобы научиться получать кристаллы фианитов, необходимо было овладеть техникой плавления и кристаллизации веществ при температурах, приближающихся к  $3000^{\circ}\text{C}$ . Следует принять во внимание, что расплавы этих веществ — окислов и родственных им соединений с преимущественно ионным типом связи — не только химически агрессивны по отношению к твердым материалам, из которых обычно делают тигли, но и сами исключительно чувствительны к окислительно-восстановительным свойствам окружающей атмосферы. В частности, в восстановительной атмосфере или в вакууме эти соединения, как правило, легко восстанавливаются. Это еще более осложняет получение кристаллов, так как делает неизбежным проведение процесса роста на воздухе.

В середине 60-х годов в Физическом институте им. П. Н. Лебедева АН СССР (ФИАНе) был найден способ, позволяющий преодолеть перечисленные трудности. В его основе лежали элементы, каждый из которых в отдельности не мог претендовать на новизну. Это хорошо известные с начала века индукционный нагрев металлов и плавление металлов в твердой оболочке из того же металла, что и расплав.



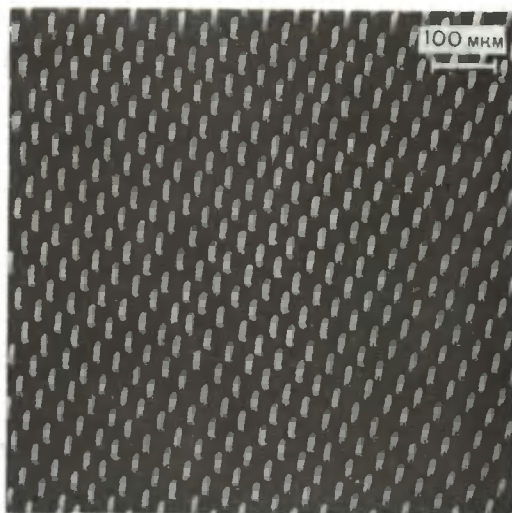


Нитевидные кристаллы кремния — справа. На кремниевую подложку (в верхней половине фотографии) была нанесена пленка золота толщиной 20 нм. При нагреве золото сплавилось с кремнием, и под действием сил поверхностного натяжения жидкая пленка разбилась на множество капелек, каждая из которых дала начало росту кристалла. На вершине каждого кристалла видна полусферическая «шапочка» — бывшая капелька, закристаллизовавшаяся в стадии охлаждения. Отдельные нитевидные кристаллы в правом нижнем углу образовались в результате случайного попадания золота на кристалл.

Создавая правильную систему капель-затравок на подложке, удается обеспечивать управляемый рост нитевидных кристаллов — слева.

Правда, вещества, о которых идет речь, — диэлектрики, и нагреваться токами высокой частоты не могут. Однако при плавлении многих диэлектриков, в том числе и оксидов циркония, их электропроводность скачкообразно возрастает вплоть до величин  $(0,1-1) \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$  и тогда расплавы становятся хорошей нагрузкой для индукционного нагрева. Существенным элементом метода стали специальные охлаждаемые водой многоэлементные контейнеры из меди или алюминия. Таким образом, объединив несколько технических приемов и разработав на их основе оборудование, удалось освоить трудную область технологических условий, условий, в которых могут быть получены кристаллы особо тугоплавких окисных и родственных им соединений.

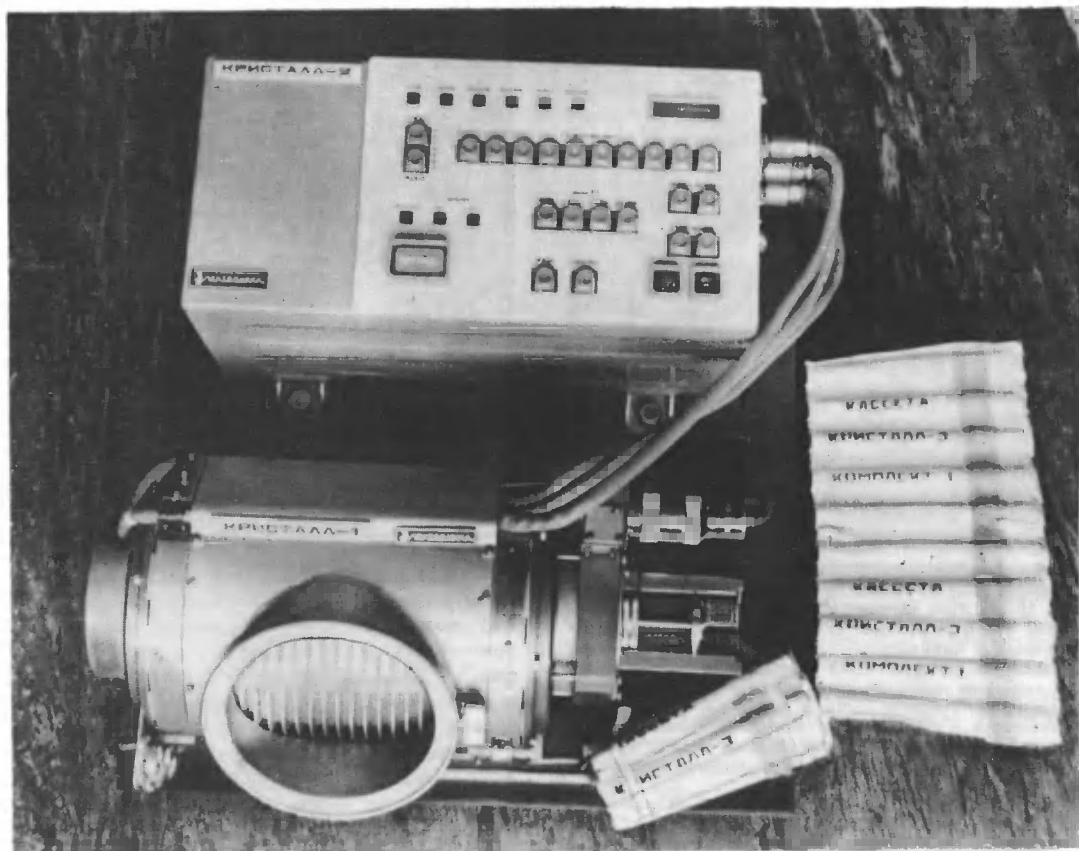
**Корр.** Обсуждая проблемы выращивания кристаллов, мы говорим, в основном, о весьма крупных образцах...



**Е. И. Гиваргизов.** ...Да, такие кристаллы необходимы, например, в оптике и электронике. Однако не менее велика сейчас потребность и в мелких кристаллах, тончайших монокристаллических пленках, весьма тонких нитевидных кристаллах и мельчайших дисперсных частицах и т. д. Масса искусственных кристаллов-гигантов в настоящее время достигает сотен килограммов (сюда относятся, например, монокристаллы щелочно-галогенидных соединений массой 150—200 кг). Другой полюс представлен монокристаллическими гетероэпитаксиальными (т. е. выращенными на инородной подложке) пленками толщиной 10—15 нм, нитевидными кристаллами диаметром 5—10 нм и мельчайшими изометричными частицами (однако, сохраняющими еще монокристаллические свойства) с размерами в поперечнике 2—3 нм.

Я хочу остановиться на нитевидных кристаллах, которые представляют собой монокристаллы с очень большим ( $\geq 10$ ) отношением длины (обычно порядка 10 мкм — 10 мм) к диаметру (0,01—100 мкм).

Острый интерес к таким кристаллам возник в 50-х годах нынешнего столетия после того, как американские исследователи С. Херринг и Дж. Голт обнаружили, что нитевидные кристаллы, или, как их принято называть, вискеры (от англ. whiskers — усы), обладают чрезвычайно высокой прочностью, примерно в 100 раз большей, чем обычные — массивные — кристаллы. Правда, несколько раньше, в 40-х годах было обнаружено, что с нитевидными кристаллами нужно обращаться осторожно: они самопроизвольно вырастают на оловянных



Общий вид аппаратуры «Кристалл».

покрытиях и закорачивают отдельные элементы сложных радиосхем.

К концу 60-х годов литература о нитевидных кристаллах уже насчитывала более 1000 названий — она была посвящена в основном необычайно высоким прочностным свойствам этих кристаллов, а также механизмам их образования. Было предложено несколько теорий и моделей для объяснения «одномерного» роста, однако все они страдали тем или иным недостатком, а поэтому не могли служить основой для управляемого выращивания нитевидных кристаллов.

Природа роста нитевидных кристаллов стала ясна после опытов американцев Р. Вагнера и У. Элписа. Оказалось, что определенные примеси, скопившиеся на

вершине нитевидного кристалла и способные образовать с его веществом сплав с низкой температурой плавления, резко ускоряют рост этих кристаллов. Так был открыт новый механизм кристаллизации — рост по схеме «пар — жидкость — кристалл». Проиллюстрируем его суть следующим примером. Представим себе, что на поверхности монокристаллической пластинки кремния лежит небольшая частица золота. При нагреве золото сплавляется с кремнием — образуется капля раствора кремния в золоте. Если над такой поверхностью пропускать газовую реакционную смесь, содержащую кремний (например,  $\text{SiCl}_4 + \text{H}_2$ ), то при определенных температурных условиях адсорбция и, соответственно, химическая реакция с выделением кремния будут происходить преимущественно на поверхности жидкости. В растворе возникнет избыток кремния, который будет осаждаться на подложке. В результате капля отодвинется от подложки, под нею вырастет кристаллический столбик, или нитевидный кристалл, причем его диаметр опре-



делится диаметром капли, т. е. размером исходной частицы золота.

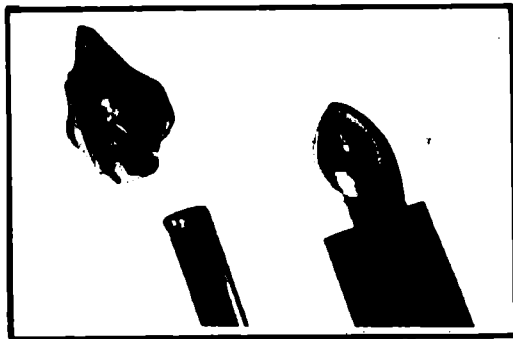
Таким образом, создавая систему капель-затравок на подложке можно обеспечить управляемый рост нитевидных кристаллов. Если исходные капли имеют одинаковые размеры, то и растущие столбики будут одинаковыми. Все это делает нитевидные кристаллы очень перспективными для разнообразных практических применений.

Интересно отметить, что следы действия механизма роста «пар — жидкость — кристалл» недавно были обнаружены в природе, в том числе в образцах лунного грунта, доставленных экипажем космического корабля «Аполлон-15».

**Корр.** В связи с тем, что речь зашла о космосе, хотелось бы узнать, что натолкнуло на мысль об экспериментах по росту кристаллов на космических станциях. Ведь исследования по программе «Кристалл» выполняет уже не первый космический экипаж...

**В. Т. Хряпов.** Современный высокий уровень технологии роста полупроводниковых кристаллов не всегда отвечает требованиям, предъявляемым к свойствам материалов. Пределы совершенствования технологических процессов обусловлены, в частности, действием сил земного тяготения, оказывающих значительное влияние на рост кристаллов. Это обстоятельство и натолкнуло на мысль использовать условия невесомости на космических кораблях для выращивания кристаллов. Первые советские эксперименты такого рода были поставлены Институтом кристаллографии АН СССР на станции «Салют-5», где из водных растворов выращивались кристаллы квасцов. Затем была создана аппаратура «Кристалл», которая работает на борту орбитальной станции «Салют-6». Она позволяет проводить, правда с меньшей точностью, многие промышленные технологические процессы, применяемые при получении полупроводниковых материалов. Довольно широк и круг самих этих материалов.

Наиболее важные изменения претерпевают в невесомости процессы тепло- и массопереноса в жидкой и газовой фазах, где резко уменьшается конвекция, вызванная гравитацией. Ярко проявляются явления, связанные с поверхностными натяжениями, например капиллярные. Конечно, кристаллизация в условиях невесомости не решает сразу всех проблем улучшения качества кристаллов. Она сопро-



Общий вид монокристаллов соединений  $A^{III}B^V$ , полученных в земных (слева) и в космических условиях на аппаратуре «Кристалл».

вождается возникновением новых трудностей.

Первые результаты исследований уже получены. Например, стало известно, что в условиях невесомости расплав под действием сил поверхностного натяжения отрывается от стенок контейнера, что в сочетании со стабильными условиями роста приводит к значительному снижению числа дислокаций в кристаллах и улучшению однородности распределения примеси в микромасштабе. Последнее — результат уменьшения конвекции. При кристаллизации из газовой фазы наблюдалось улучшение электрофизических и структурных параметров кристаллов и пленок, выращенных в условиях невесомости, по сравнению с образцами, получаемыми на Земле.

Хочется подчеркнуть, что исследование процесса роста кристаллов в космических условиях — не разовый эксперимент, а долговременная многогранная и эволюционная программа, рассчитанная на значительное число полетов.

**Корр.** В рамках короткой беседы, конечно, невозможно затронуть все аспекты такой многогранной, как сами кристаллы, темы — «Рост кристаллов». И все же хотелось бы коснуться вопроса о кристаллизации белков.

**Б. К. Вайнштейн.** Образование кристаллов биологического происхождения чрезвычайно своеобразно и пока мало изучено. В частности, это относится к кристаллам глобулярных белков, молекулы которых представляют собой плотно свернутые в глобулы полипептидные цепи.

Замечательной особенностью таких кристаллов является то, что промежутки между молекулами, образующими правильную кристаллографическую упаковку, заполнены той самой жидкостью (обычно это вода с растворенными в ней теми или иными ионами), из которой шла кристаллизация (в кристаллографии такую жидкость называют маточной). Только находясь в равновесии с маточной жидкостью, т. е. будучи влажным, биологический кристалл может существовать. Содержание жидкости внутри кристалла колеблется от 85 до 40%. При высушивании нарушается кристаллическая упорядоченность упаковки молекул и присущая им внутренняя структура, поэтому есть температурный предел существования таких кристаллов — около 50—60°C. По этой причине никакого «плавления» белковых кристаллов быть не может. Равновесная укладка молекул обеспечивается главным образом электростатическими силами взаимодействия полярных групп, расположенных на поверхности соседних глобул, и водородными связями через молекулы растворителя в местах ближайших контактов.

Таким образом, кристаллическая белковая фаза, в сущности, содержит в себе вторую, разупорядоченную фазу — жидкость, из которой шла кристаллизация. Впрочем, и металлический кристалл в определенном смысле можно рассматривать с таких позиций — это ионные остовы атомов, погруженные в приблизительно равномерно распределенную «электронную жидкость».

Управлять ростом белковых кристаллов можно не только изменяя обычные параметры (температуру, пересыщение и т. п.), но и используя добавки в раствор разнообразных неорганических ионов.

Плотности молекул и растворителя различаются очень мало. Это дало возможность для ускорения кристаллизации пользоваться центрифугой, в которой «искусственная тяжесть» составляет до 150 000 г.

При определенных условиях молекулы некоторых белков можно закристаллизовать не в виде обычных кристаллов с трехмерной периодичностью, а в виде двумерных слоев или в виде трубчатых кристаллов с мономолекулярными стенками, обладающими спиральной симметрией.

Расшифровка же структуры таких белков производится методами современной кристаллографии, получаемая при этом информация оказывается поистине

бесценной для развития биологии и медицины.

**Корр.** Как бы Вы резюмировали итоги конференции?

**Б. К. Вайнштейн.** Международная конференция по росту кристаллов, шестая по счету, проводилась в нашей стране впервые и была чрезвычайно полезной для осуществления широкого обмена научной информацией внутри мирового сообщества исследователей явления кристаллизации. Характерной чертой работ, представленных на обсуждение, было стремление дать ясную физическую и физико-химическую картину многочисленных явлений роста кристаллов и описать их количественно, проникнуть в молекулярные процессы роста кристаллов. Кроме того, в ходе конференции обсуждались способы усовершенствования существующих технологий и развитие новых методов выращивания кристаллов.

Нет сомнения, что благодаря контактам между учеными различных стран будет сделан еще один шаг на пути превращения искусства выращивания кристаллов в современную науку.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

**Шубников А. В.** КАК РАСТУТ КРИСТАЛЛЫ. М.— Л., 1935

**Вайнштейн Б. К.** КРИСТАЛЛОГРАФИЯ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС.— «Кристаллография», 1971, т. 16, вып. 2, с. 261

**Чернов А. А.** СЛОИСТО-СПИРАЛЬНЫЙ РОСТ КРИСТАЛЛОВ.— «Успехи физических наук», 1961, т. 73, вып. 2, с. 277.

**Чернов А. А.** РОСТ ЦЕПЕЙ СОПОЛИМЕРОВ И СМЕШАННЫХ КРИСТАЛЛОВ — СТАТИСТИКА ПРОБ И ОШИБОК.— «Успехи физических наук», 1970, т. 100, вып. 2, с. 277.

**Лодиз Р. А., Паркер Р. Л.** РОСТ МОНОКРИСТАЛЛОВ. М., 1973.

**Маллин Дж.** КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ. М., 1966.

## АБРАМ ФЕДОРОВИЧ ИОФФЕ

К 100-летию со дня рождения

### Роль А. Ф. Иоффе в развитии советской ядерной физики и техники

Я. Б. Зельдович, Ю. Б. Харитон



Яков Борисович Зельдович, академик, лауреат Ленинской и Государственных премий СССР, трижды Герой Социалистического Труда. Я. Б. Зельдовичу принадлежат фундаментальные работы в области физической химии, теории элементарных частиц, ядерной физики. Совместно с Ю. Б. Харитоновым им заложены основы теории цепной ядерной реакции. Создатель школы советских физиков в области теории горения, детонации и ударных волн. В последние годы активно разрабатывает проблемы астрофизики и космологии. Неоднократно печатался в нашем журнале.



Юлий Борисович Харитон, академик, лауреат Ленинской и Государственных премий СССР, трижды Герой Социалистического Труда. Автор фундаментальных работ в области химической физики. Разработал теорию разделения газов центрифугированием. Ю. Б. Харитону и его ученикам принадлежат основополагающие работы по физике горения и взрыва. Совместно с Я. Б. Зельдовичем заложил основы теории цепной ядерной реакции.

Абрам Федорович прожил долгую, плодотворную и счастливую жизнь. Созданный им коллектив физиков (школа Иоффе) сыграл выдающуюся роль в советской науке и технике, и в частности в советской энергетике. Абраму Федоровичу довелось увидеть результаты своей научно-организационной работы, результаты того труда и вдохновения, которые он вкладывал в науку и в создание научных кадров.

Воспитанный на классической физике XIX в., он был свидетелем и участником переворота, связанного с квантовой теорией света, теорией относительности, конкретизацией атомной теории, возникновением ядерной физики и физики элементарных частиц.

На исторических фотографиях, запечатлевших Сольвеевские конгрессы 1924 и 1933 гг., Иоффе снят рядом с Бором, Марией Кюри, Резерфордом, Шредингером.

Огромный вклад Абрама Федоровича в дело развития советской физики — как фундаментальной, так и технической — хорошо известен. Так же хорошо известна его смелая линия — организация целой сети физико-технических институтов в различных регионах Советского Союза. Этот план А. Ф. Иоффе реализовал, смело расставаясь с многими талантливыми молодыми учеными, которые в ближайшие годы могли бы немало приумножить мощь ФТИ. Но он считал, что более важно создание физических центров в основных про-

мысленных городах, и шел на любые жертвы для достижения этой цели.

Абрам Федорович не мыслил своей работы и работы института без исследования самых фундаментальных вопросов физики и среди них — вопроса об элементарных частицах. Атомизм электричества, существование и свойства электронов, зависимость их массы от энергии, кванты света — таковы были вопросы, занимавшие физиков в начале нашего века. Катодные и рентгеновские лучи, наряду с естественной радиоактивностью и космическими лучами, были «физикой высоких энергий» тех дней. Эти вопросы органически вошли в тематику Физико-технического института и тесно связанного с ним Радиового института.

Предсказание и открытие позитрона и открытие нейтрона в конце 20-х — начале 30-х годов необычайно усилили интерес Иоффе и всего коллектива ФТИ к физике ядра и элементарных частиц.

В приказе о структуре ФТИ от 20 января 1932 г. фигурирует «Бригада № 1: строение ядра. Начальник бригады Д. В. Скобельцын». Но в том же году позже организуется «Отдел ядерной физики», начальник И. В. Курчатов, в составе трех лабораторий: ядерных реакций (И. В. Курчатов), естественной радиации и космических лучей (Д. В. Скобельцын) и высоковольтная (Л. А. Арцимович). Наконец, приказ по ФТИ от 15 декабря 1932 г. гласил: «Для осуществления работ по ядру, являющихся второй центральной проблемой научно-исследовательских работ ЛФТИ<sup>1</sup>, образовать особую группу по ядру в составе: академик А. Ф. Иоффе — начальник группы, И. В. Курчатов — заместитель начальника...»<sup>2</sup>.

Создавая новый отдел, Абрам Федорович подчеркивает важность ядерно-физической тематики. Нельзя не отметить смелости этого шага. В то время твердо господствовало убеждение, что ядерная физика — это чисто академическая наука, от которой нельзя ждать каких-нибудь технических выходов. Между тем Абрам Федорович всегда считал, что реализация технических приложений, вытекающих из работ института, является чрезвычайно важной частью работы института. Недаром же институт был назван физико-

техническим. То, что при таком положении директор института возглавил и лично взялся за технически бесперспективное направление, могло показаться даже в какой-то мере вызывающим. Не может быть, чтобы Абрам Федорович этого не понимал. Так в чем же дело?

Мы думаем, что здесь были две причины. Во-первых, научная интуиция Абрама Федоровича подсказывала ему, что именно в этой области физики предстоят крупнейшие новые открытия и глубочайшие прорывы в понимании основных свойств материи.

Во-вторых, неизменный оптимизм Абрама Федоровича подсказывал ему, что скачки в понимании основных свойств материи неминуемо приведут к крупным сдвигам в технике, в частности в энергетике, которая его всегда интересовала. Те, кто систематически бывал на семинарах, проводившихся Абрамом Федоровичем, помнят его неоднократные высказывания о необходимости работы над различными способами использования солнечной энергии, естественного холода и т. п. Многие из того, что он пропагандировал полсотни лет тому назад, сейчас претворяется в реальность или становится предметом конкретных разработок. Оптимистическим было и отношение Иоффе к проблеме ядерной энергии.

Перед нами короткое интервью Абрама Федоровича корреспонденту журнала «Вокруг света».

«Если говорить об энергии внутриатомной, то запас ее имеется колоссальный. Некоторую часть ее можно, вероятно, использовать».

Не совсем правильно называть эту энергию запасами. Это не источник энергии, а ее кладбище... знак того, какие громадные запасы энергии были уже затрачены. Есть атомы нестроенные — радиоактивные атомы, где можно произвести дальнейшее уменьшение. Если взять четыре атома водорода, соединить их ядра с двумя электронами, а два оставить, то получится атом гелия — и тогда освободится громадное количество энергии...

Но пока это еще не достигнуто<sup>3</sup>

Интересно и поучительно сопоставить целеустремленность и оптимизм А. Ф. Иоффе с господствовавшими взглядами, и прежде всего со взглядами Э. Резерфорда.

<sup>1</sup> Первой проблемой в ФТИ являлась физика полупроводников.

<sup>2</sup> Архив ФТИ им. А. Ф. Иоффе АН СССР, ф. 3, оп. 2, ед. хр. 4, л. 104.

<sup>3</sup> «Вокруг света», 1935, № 5, с. 12.



АБРАМ ФЕДОРОВИЧ ИОФФЕ 17[29].X.1880—14.X. 1960

Фото 2-й половины 40-х годов.

Резерфорд открыл само существование атомного ядра, понял, что радиоактивность есть превращение атомного ядра, осуществил первые ядерные реакции, вызванные альфа-частицами, в его лаборатории был открыт нейтрон, осуществлена на ускоренных протонах ядерная реакция  $p + \text{Li}^7 = 2\text{He}^4$  с положительным энергетическим балансом.

До конца своей жизни (октябрь 1937 г.) Резерфорд очень категорически

и очень негативно высказывался по проблеме ядерной энергетики. Он не ограничивался отрицательными отзывами на неквалифицированные фантастические предложения. Известно, что в 1934 г. Резерфорд буквально выгнал из своего кабинета Сциларда, который пришел рассказать об идее цепной реакции с размножением нейтронов. Уязвленный Сцилард назвал Резерфорду получил патент на изобретение. Позже, после войны, прави-



Участники IV Сольвеевского конгресса. 1924 г. Брюссель.

Л. Бриллюэн

Э. Генрио

Т. Дедондер

Г. Бауэр

П. Дебай

А. Ф. Иоффе

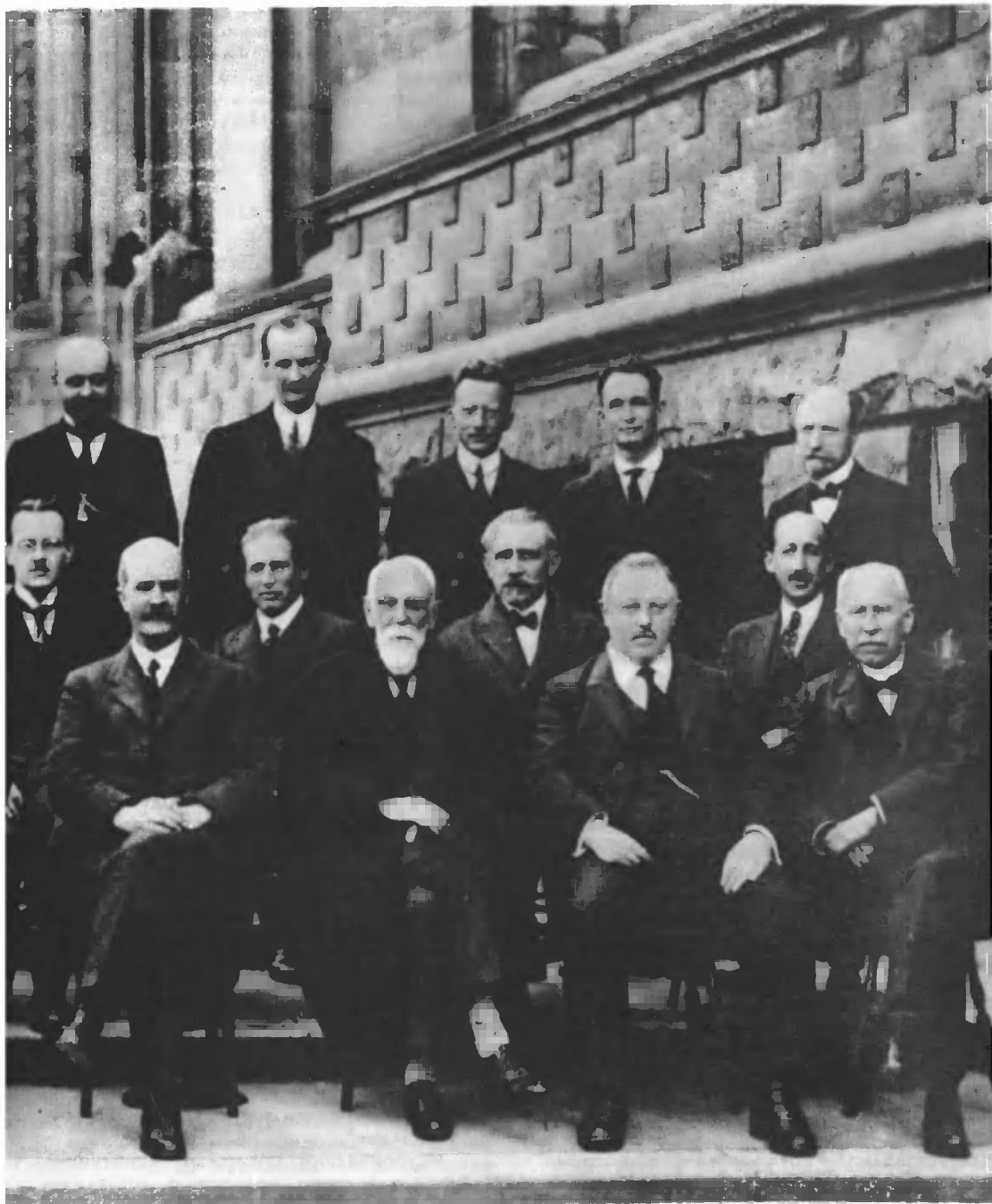
О. Ричардсон

Э. Резерфорд

М. Кюри

Э. Холл

Г. Лоренц



Е. Герцен

А. Пикар

Э. Шредингер

П. Бриджмен

Ю. Вершаффельт

В. Броневский

В. Розенфельд

П. Ланжевэн

Д. Хевешн

В. Брэгг

М. Бриллюэн

В. Кеззом

Е. ван Абель

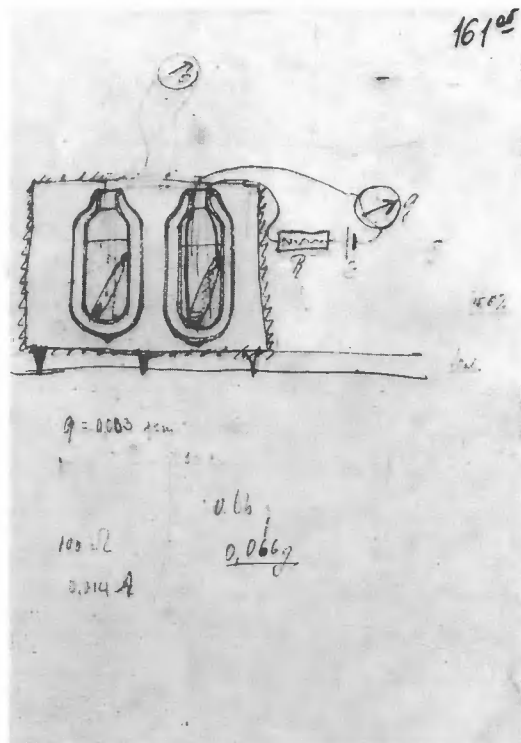


Схема эксперимента по определению энергии, излучаемой радием, который был проведен А. Ф. Иоффе в лаборатории Рентгена в 1903 г. Из мюнхенской рабочей тетради А. Ф. Иоффе, хранящейся в Архиве АН СССР (Ленинградское отделение).

тельство США купило у Сциларда этот патент по сходной цене 20 000 долларов<sup>4</sup>.

Были и общие пессимистические высказывания Резерфорда в публичных выступлениях.

В чем же дело? Можно ли объяснить позицию Резерфорда одним только тем обстоятельством, что он был лучше, чем кто-либо, информирован, лучше всех знал ядерную физику? Сколько истины в шутке «Пессимист — это хорошо информированный оптимист»? На первый взгляд Резерфорд имел все основания для пессимизма. Сцилард в 1934 г. не мог указать такого ядра, попадание в которое одного нейтрона вызвало бы испускание двух нейтронов той же энергии. Деление урана еще не было открыто. Заметим, впрочем, что и здесь были предтечи: о возможности де-

ления ядер писала Ида Ноддак в 1934 г., но общественное мнение, «истеблишмент» физиков не прислушался к ней. Но допустим даже, что деление урана «не состоялось бы», не будем ставить в упрек Резерфорду то, что он не предвидел деления урана, без которого идея цепной реакции мертва. Сегодня, с позиций конца семидесятых годов, мы знаем, что глобальный пессимизм все равно не оправдан! Действительно, прямой путь бомбардировки, например, лития протонами — нерентабелен, потери энергии протонов на электронах лития во много раз превосходят выделение энергии при попадании в ядро. Но в принципе ведь возможна ситуация, когда средняя энергия электронов велика и потерь нет, т. е. возможна термоядерная реакция!

Эта реакция может происходить в разреженном газе, между частицами, движущимися в магнитном поле. Реакция возможна в сверхплотном горячем веществе в фокусе кумулятивного взрыва. Сам взрыв может быть вызван фокусирующей лазерного излучения (не известного в 1937 г.) или ударом ускоренных частиц, электронов или ионов. При применении релятивистских протонов соотношение между вероятностью ядерной реакции и ионизационными потерями становится благоприятным, и открывается новый ряд возможных применений (получение плутония, получение радиоактивных изотопов). Наконец, в определенных условиях может оказаться практически интересным катализ ядерных реакций изотопов водорода холодными мюонами. Мы перечисляем здесь скороговоркой крупнейшие, важнейшие направления современных исследований с единственной целью — показать разнообразие тех путей, которые открывает природа перед ищущим, перед оптимистом.

Можно только повторить, что Резерфорд — великий ученый и сделал в ядерной физике больше, чем кто-либо другой. Но, по выражению П. Л. Капицы, «суждения Резерфорда о практических последствиях ядерной физики не имели ценности. Эти вопросы лежали вне круга его интересов и вкусов»<sup>5</sup>.

Исторический оптимизм и интуиция Иоффе оказались полностью оправданными!

Новая эпоха в ядерной физике, в проблеме атомной энергии началась, как

<sup>4</sup> Blumberg S. A. Energy and Conflict. The Life and Times of Edward Teller. N. Y., 1976, p. 86.

<sup>5</sup> Капица П. Л. Эксперимент. Теория. Практика. М., 1974, с. 233.





Группа физиков Москвы и Ленинграда. 1925 г. Сидят: С. Н. Ржевский, А. Ф. Иоффе, Е. К. Молодая, П. П. Лазарев, Л. В. Мысовский. Стоят: П. Н. Беликов, Э. В. Шпольский, Б. В. Ильин, С. И. Явильов, Е. Е. Сиротин, Б. А. Введенский.

известно, в 1939 г. с открытием деления урана. Появилась принципиальная возможность осуществления ядерной цепной реакции и всего с ней связанного. Академия наук СССР создала «урановую комиссию» во главе с академиком В. Г. Хлопиным, в которую вошел Абрам Федорович. Один из нас (Ю. Б. Харитон), также входивший в эту комиссию, помнит активность и энтузиазм, с которыми Иоффе развивал планы развертывания работ.

Когда проблема атомной энергии стала важнейшей государственной задачей, именно Иоффе рекомендовал своего ученика — И. В. Курчатова — в качестве научного руководителя проблемы. Многие ближайшие сотрудники Иоффе покинули институт и отдали свои силы проблеме. Несомненно, что при этом произошло некоторое временное ослабление института (вдобавок к потерям, связанным с войной, эвакуацией и блокадой Ленинграда). У Иоффе не было сожаления об этом,

не было ревности ни к проблеме, ни к ее руководителю. Физико-технический институт и Иоффе лично делали все возможное для помощи проблеме со всей страстью и самоотдачей.

Описание гигантской работы, проведенной И. В. Курчатовым как руководителем проблемы, выходит за рамки нашей статьи. Может быть, целесообразно отметить здесь только то, что И. В. Курчатов привлек ученых самых различных школ, как физиков, так и ученых других специальностей. Успех пришел в результате дружной коллективной работы. И. В. Курчатов радовался успехам своих новых соратников так же искренне, как и успехам тех, с кем работал бок о бок в ФТИ около двадцати лет.

Вернемся к теме статьи.

В октябре 1940 г. А. Ф. Иоффе исполнилось 60 лет. В день своего юбилея он публикует в газете «Правда» статью «Проблемы физики атомного ядра». Разделы этой статьи — «Проблема урана», «Использование ядерной физики» — полны оптимизма. Отмечается возможность реакции с использованием тяжелого водорода в качестве замедлителя (в другом документе говорится о необходимости тщательного исследования захвата нейтронов

углеродом и кислородом). Говорится об изменении природного соотношения изотопов, о трудности этого пути. Вместе с тем Иоффе пишет: «Мы знаем ряд приемов для изменения природного состава изотопов и даже выделения чистых изотопов, но все эти приемы дают ничтожное количество вещества и требуют больших затрат. Возможно, что удастся изобрести еще другие, более дешевые и массовые способы и обогатить уран изотопом  $^{235}\text{U}$ »<sup>6</sup>.

Здесь уместно отметить, что освоение атомной энергии было связано отнюдь не только с задачами ядерной физики как таковой. Эту сторону дела Абрам Федорович прекрасно понимал. «Для новой энергии потребуется и новая энергетическая техника» (из той же статьи). Но что еще важнее — сама структура Физико-технического института и его дочерних институтов обеспечила нашей стране возможность подготовки таких кадров, которые смогли взять на себя решение значительной части соответствующих задач. Пример, наиболее близкий авторам статьи, — в Институте химической физики АН СССР академик Н. Н. Семенов создал научную школу химических цепных реакций. Используя опыт этой школы, авторы смогли быстро сориентироваться в специфике цепного ядерного процесса, выяснить инертность природного урана при делении на быстрых нейтронах, проанализировать условия реакции при наличии замедлителя. В последней работе этого цикла, опубликованной в 1940 г., рассматривалась кинетика реакции вблизи критических условий, была показана возможность и устойчивость стационарного режима энерговыделения<sup>7</sup>. На основании имевшихся в то время скудных данных были сделаны оценки<sup>8</sup> критической массы урана  $^{235}\text{U}$ .

Еще раньше, в 1937 г., один из авторов (Ю. Б. Харитон) установил физические принципы расчета разделения газов с неодинаковым молекулярным весом центрифугированием<sup>9</sup>. Как известно, практически разделение изотопов урана сперва было осуществлено диффузионным методом. Однако в настоящее время метод центрифугирования, экономящий энергию, также

широко используется. В 40-х годах уже в связи с урановой проблемой в разработке теории центрифуги приняли участие такие ученые, как Дирак, Пайерлс, Онзагер.

Упомянутая выше работа 1937 г. правильно показала масштаб технических трудностей разделения изотопов.

В решении большого числа инженерных задач атомной проблемы ученики Иоффе, его научные дети, внуки и правнуки, сыграли достойную роль.

Абрам Федорович учил нас физике, учил работать, учил соединять научный подход с энтузиазмом и фантазией. Большую роль в подготовке кадров сыграл организованный А. Ф. Иоффе физико-механический факультет Ленинградского политехнического института. На протяжении многих лет Иоффе был деканом факультета, тесно связанного с Физико-техническим институтом.

Принципы обучения и особенно судьбы людей, учившихся на физмехе, заслуживают особой статьи или книги.

Одному из нас (Ю. Б. Харитону) выпало счастье прослушать ряд глав общего курса физики, который Абрам Федорович читал первокурсникам нескольких инженерных факультетов Ленинградского политехнического института в 1920—1921 гг. Лекции читались в большой физической аудитории, в главном корпусе института. Аудитория всегда была набита до отказа. Здание не отапливалось. Студенты сидели в пальто и шапках. Точно вовремя открывалась боковая дверь и за демонстрационным столом перед огромной доской появлялась высокая стройная фигура в строгом черном костюме с белоснежным воротничком. Лектору было 40 лет. Воцарялась мертвая тишина, и высокий звонкий голос вводил студентов в мир физических образов, имевший очень мало общего с сухим содержанием учебников, которыми можно было пользоваться в библиотеке.

Для слушателя, пишущего эти строки, лекции повернули жизнь. Он оставил электромеханический факультет и перешел на организованный Иоффе физико-механический факультет.

В один из дней аудитория встретила лектора бурными аплодисментами — это было поздравление с избранием в академики.

В 1931 г. письмо за подписью Иоффе, адресованное в Институт механической обработки полезных ископаемых, решило судьбу второго автора (Я. Б. Зельдовича) — последовал перевод в Институт химической

<sup>6</sup> Иоффе А. Ф. «Правда», 1940, № 301 (29 окт.).

<sup>7</sup> Зельдович Я. Б., Харитон Ю. Б. «ЖЭТФ», 1939, т. 9, с. 1425; там же, 1940, т. 10, с. 29; там же, с. 477.

<sup>8</sup> Зельдович Я. Б., Харитон Ю. Б. «УФН», 1940, т. 23, с. 329.

<sup>9</sup> Харитон Ю. Б. «ЖТФ». 1937, т. 7, с. 1476.

физики, работа у С. З. Рогинского, Н. Н. Семенова, общение с физиками. Запомнился внеочередной семинар, на котором Иоффе огласил письмо Чедвика, сообщавшее об открытии нейтрона, общий энтузиазм и телеграмма от участников семинара в Кембридж с поздравлениями и предложением совместной работы.

Было бы неправильно отделять научно-организационные заслуги Иоффе от его облика ученого. Вряд ли возможно руководить наукой без прямого живого непосредственного интереса к предмету.

Освещая общее значение деятельности Абрама Федоровича для развития советской ядерной физики, хочется упомянуть некоторые отдельные штрихи, характеризующие его отношение к различным вопросам.

Однажды один из блестящих молодых теоретиков докладывал на институтском семинаре появившуюся в литературе работу Г. А. Гамова об испускании альфа-частиц как о процессе прохождения сквозь барьер. В конце докладчик начал обсуждать математический вывод и показал, что все это можно сделать гораздо красивее. Абрам Федорович с необычайным для него раздражением прервал докладчика, сказав: «Разве дело в красоте способа вывода — важна идея!»

В тридцатые годы, когда Абрам Федорович на некоторое время сам, как мы уже рассказывали, возглавил работы по ядерной физике в ФТИ, он настойчиво пропагандировал одну идею на проводившихся им семинарах. Он считал крайне важным создание камер, которые работали бы не как камера Вильсона — в момент расширения, — а непрерывно. На нескольких семинарах он возвращался к этому вопросу, предлагал подумать над некоторыми конкретными вариантами. К сожалению, никто не подхватил тогда его идеи, и они были реализованы значительно позже.

Абрам Федорович принимал самое активное участие в организации первой всесоюзной конференции по атомному ядру (1933) и был председателем второй (1937) такой конференции; обе они были проведены им с большим подъемом. В своем выступлении на 2-й конференции и позже, в упомянутой статье 1940 г., Иоффе высказывает необычайно важную и смелую мысль о том, что «перечисление элементарных частиц заставляет усомниться в их элементарности», что «протоны и нейтроны может быть также не являются элементарными частицами».

В письме, адресованном Нильсу Бору, Абрам Федорович предлагает составную модель нейтрона, объясняющую его магнитный момент.

Прошло четверть века и появились современные кварковые модели протона и нейтрона. Эти модели буквально мало похожи на представления Иоффе, но общую его мысль о неэлементарности нейтрона и протона они подтверждают.

Конкретные открытия, сделанные в ФТИ в области экспериментальной и теоретической ядерной физики, общеизвестны. Об этих открытиях и об отношении к ним А. Ф. Иоффе могут лучше рассказать те, кто непосредственно работал и работает в этом институте. Мы сознательно ограничились самым общим описанием деятельности Абрама Федоровича и отдельными, сугубо личными воспоминаниями о некоторых моментах, быть может не самых важных объективно, но близких и дорогих авторам.

Есть свидетельство того, что и будучи директором Института полупроводников, Иоффе продолжал интересоваться развитием ядерных исследований в Физико-техническом институте. За несколько дней до смерти Абрама Федоровича к нему приходил Б. П. Константинов — в 1960 г. директор ФТИ — и обсуждал программу термоядерных исследований.

Восемьдесят лет жизни, шестьдесят лет в физике, тридцать два года во главе Физико-технического института и восемь лет во главе Института полупроводников, годы революции и Отечественной войны — эти годыместили бесконечно много свершений, познания, славы, порой и противоречивых оценок. Оставалось неизменным то главное, что было характерно для Иоффе: его преданность науке и его сознание социальной ответственности науки, его преданность делу социалистического строительства и его активность ученого-коммуниста. Служение науке и служение родине были для Иоффе нерасторжимы.

Время все расставляет на места. Прошло 100 лет со дня рождения, 20 лет после смерти — и во всей красе встает перед нашим мысленным взором дело жизни Иоффе, образ самого Абрама Федоровича с нимбом седых волос, щеточкой седых усов, с ясным пронизательным взглядом, с твердой и спокойной уверенностью в могуществе науки, которой он отдал всю свою жизнь, с уверенностью в правоте своего славного пути.

## А. Ф. Иоффе — создатель Агрофизического института

А. Ф. Чудновский



Абрам Филиппович Чудновский, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией аэродистанционных исследований в сельском хозяйстве Агрофизического института ВАСХНИЛ. Работает в области теплофизики почвы, физики приземного слоя воздуха и сельскохозяйственного приборостроения. Монографии: Что такое агрофизика? М., 1963; Энерго- и массообмен в системе «растение — почва — воздух». Л., 1975 (совместно с С. В. Нерпичим); Теплофизика почв. М., 1976 и др.

Первый разговор с А. Ф. Иоффе произошел у меня в 1930 г. в Одессе. В 1933 г. он включил меня в состав своих сотрудников в Физико-техническом и Политехническом институтах, а в 1935 г. привлек к работе в организованной им Агрофизический институт (АФИ).

Очень много написано о блестящих научных и организационных достижениях Абрама Федоровича. Хорошо известно его необыкновенное чутье на перспективные и для многих скрытые пути развития науки. В частности, автор этих строк еще в начале 30-х годов слышал из уст Абрама Федоровича предсказания того, что вторая половина XX в. станет эпохой использования физики в медицине, биологии и сельском хозяйстве. Абрам Федорович был так увлечен в те времена этой идеей, что начал активно со свойственной ему энергией претворять ее в жизнь. Он создал новое направление в науке — агрофизическое — и организовал для этого специальный институт.

При чтении газет и журналов второй половины 1931—1932 гг. бросаются в глаза многочисленные статьи и ряд взятых у него интервью, в которых варьируется тема о необходимости ввести в сельскохозяйственные науки весь арсенал физико-математических средств, применить новейшие достижения техники, использовать приборы

и аппаратуру для точных измерений параметров почвы и оценки поведения растений — вот первоначальные задачи, решение которых может поднять сельскохозяйственное производство на более высокий уровень.

Переход в начале 30-х годов к коллективной форме владения и эксплуатации земель представлялся Абраму Федоровичу благоприятным фактором для осуществления этой программы. Нельзя не признать, что идея создания в стране специального института, который бы направлял достижения точных наук в область сельского хозяйства, была не только новаторской, но и беспрецедентной. Во всем мире, в самых развитых странах Европы и Америки не было научного центра с таким назначением, не существовало и агрономической физики как специальной отрасли знания. Кроме небольших учреждений, в которых отдельные лица старались использовать методы физики в земледелии и растениеводстве (примером чего может служить Ретамстедская станция в Англии), не было никакой сколько-нибудь четко спланированной в этом направлении деятельности. Развитие агрофизики связано с созданием Агрофизического института и ряда лабораторий и кафедр при научных и учебных учреждениях.

При создании Института Абрам Федо-

рович часто пользовался советами и поддержкой ученых-биологов, в первую очередь — Н. И. Вавилова, который предложил включить этот институт в состав ВАСХНИЛ. Сотрудничество двух выдающихся ученых привело к следующим результатам: 5 января 1932 г. Коллегия Наркомзема СССР решает создать Физико-агрономический институт (первоначальное название АФИ), а уже через два дня, 7 января, Президиум ВАСХНИЛ постановляет на этом основании ввести его в свой состав, 17 января издается первый приказ по Институту, в котором директором его был назначен А. Ф. Иоффе. А. Ф. Иоффе привлекал к работе по темам Института многих своих учеников. Среди них были Г. М. Франк, А. И. Шальников, П. П. Кобеко, Ю. П. Маслаковец, В. П. Жузе, Е. В. Кувшинский, Г. П. Михайлов, Б. Т. Коломиец, С. Е. Бреслер. В самом начале деятельности Агрофизического института ему была передана из Физико-технического института группа биофизики.

Главной задачей, поставленной А. Ф. Иоффе перед коллективом Института, было исследование жизнедеятельности растений и условий окружающей их среды для выявления научно обоснованных и хозяйственно-эффективных средств активного воздействия как на растение, так и на среду (почву, в первую очередь) с целью получения максимальной продуктивности сельскохозяйственных культур в открытом поле и в условиях защищенного грунта (теплиц, парников).

К началу 1935 г. выяснилось, что на продуктивность растений в закрытом грунте можно влиять преимущественно светом, для чего необходима лаборатория фотофизиологии (заведующий — В. П. Мальчевский). Организуются тепловая и водная лаборатории, во главе которых были назначены, соответственно, Б. П. Александров и Ф. Е. Колясев. Заведующим лабораторией структуры почв стал П. В. Вершинин. Образуются две лаборатории пленочных материалов (Д. А. Федоров и Н. Я. Соленчик) для разработки свето-прозрачных покрытий сооружений при искусственном выращивании растений и лаборатория почвенных покрытий (Н. Н. Банасевич, Н. Г. Захаров) для разработки эмульсий, разбрызгиваемых на движущиеся пески с целью их закрепления. К началу 1935 г. состав Института окончательно стабилизируется.

Б. П. Александров и А. В. Куртнер стали пионерами в области современного агрофизического приборостроения. Они

создали в 1934 г. первый электротермометр для почвы, позволивший измерять (что исключал ртутный термометр) температуру на любой глубине и на любой дистанции. Теперь даже невозможно себе представить, какие трудности встретились на пути внедрения термометров. Надо было учесть влияние подводящих проводов, найти не существовавший тогда материал для теплоизоляции чувствительных элементов. Для проверки его работы ученые отправились в Каракумы, где отсутствует влага в почве. Для построения второго прибора по измерению влажности почв Б. П. Александров предложил впервые использовать электрическую емкость образца почвы. Б. П. Александров встретился здесь с огромными трудностями, поскольку почва, как дисперсная среда, состоит из множества микроконденсаторов, различное расположение которых в исследуемом образце могло приводить к неоднозначным ответам. До него никто не обращал внимания на это обстоятельство. Я. И. Френкель по инициативе А. Б. Иоффе заинтересовался этим явлением. Размышление над ним привело к созданию теории электрической емкости сложных объектов, в том числе и живой ткани. Б. П. Александров и А. В. Куртнер уже в 1934 г. явились авторами первой в мире монографии «Тепловой баланс почвы». Трудно переоценить значение этой работы. Уравнение теплового баланса, изложенное здесь, было взято на вооружение агрофизикой, метеорологией, геофизикой и т. д., оставаясь и поныне наиболее эффективным средством исследования. Появление этой монографии обязано идее А. Ф. Иоффе о необходимости создания серии книг и брошюр по актуальным проблемам технической физики.

Огромную роль в формировании агрофизики сыграла В. П. Константинова. Разрабатывая идею А. Ф. Иоффе о необходимости изыскания активных мер воздействия на почву, В. П. Константинова стала центральной фигурой в области обоснования способов создания искусственной структуры почв. Нужно иметь в виду, что в начале 30-х годов не так легко было реализовать подобный подход, ибо среди почвоведов находились и активно действовали противники этой идеи. И в самом институте в начале его существования такой авторитетный агроном, как Н. И. Савинов, считал, что структура должна быть создана естественным образом — рациональным травосеянием и чередованием посевов. Работа в содружестве с прекрасным агрономом В. П. Вершининым,



А. Ф. Иоффе в Комарово (под Ленинградом). 1959 г.

В. П. Константинова сумела на основе физико-химических расчетов и экспериментов обосновать концепцию искусственной структуры. Результаты она изложила в своей кандидатской диссертации и в монографии «Физико-химические основы структуры почв», написанной совместно с В. П. Вершининым и вышедшей в 1935 г. Эта работа и по сей день остается настольной книгой для всех агрофизиков...

А. Ф. Иоффе оставался директором Агрофизического института до последних дней своей жизни. Энерго- и массообмен в системе «растение — почва — приземный воздух», разработка методов оценки функционального состояния растений, создание агрофизических приборов и их систем (электронных агрономов, по определению А. Ф. Иоффе), разработка теоретических и методических основ планирования продуктивности культур — все эти направления исследований, которые разрабатываются в Институте наших дней, были заложены основателем современной агрофизики — Абрамом Федоровичем Иоффе.

Трудно назвать в мировой науке более удачного учителя и руководителя,

чем Абрам Федорович. Он сам выбирал себе сотрудников, умело оценивал их возможности и поручал каждому то дело, для которого тот более всего был пригоден. Здесь можно говорить о каком-то особом врожденном качестве, которое было ему присуще. Как правило, Абрам Федорович высказывал идею, находил человека, пригодного для ее воплощения, и просил его подумать, что можно подчитать, выяснить, насколько идея реализуема, в какой мере поддается экспериментальной проверке. Часто он тут же указывал на возможные выходы в случае положительного решения. Он буквально загорался каждый раз, когда такие идеи возникали, торопил с ответами, интересовался, будоражил и не давал успокаиваться. Конечно, не могло быть стопроцентной удачи. От многих идей приходилось вскоре отказываться ввиду их сложности, даже нереальности, фантастичности. А фантазии у Абрама Федоровича был непочатый край. Мыслил он широко, перспективно и, не будем греха таить, часто увлекался безотчетно и страстно. Но разочарование в решении того или иного вопроса не останавливало его, и он продолжал вновь и вновь выдвигать новые заманчивые проблемы. Но то, что оставалось в результате отбора, он старался всемерно развивать и форсировать. В моей практике

обсуждения хода решаемых задач проходили с частотой в одну неделю. Много лет каждую среду (если он не уезжал в командировку, не отлучался по важным делам) он собирал к себе людей, связанных с интересующим его в это время вопросом, внимательно выслушивал, как обстоят дела, всегда активно вмешивался и умело подправлял и направлял их в должную сторону. С теми учениками, которых особенно ценил и на которых надеялся, он довольно часто встречался у себя на даче, вел деловые беседы во время прогулок в Сосновке, а иногда и в поезде при совместных командировках. Тех же сотрудников, от которых он не ожидал результатов, он просто не замечал, не вступал с ними в контакт, и это было для них наихудшим наказанием.

Семинары Абрама Федоровича проходили живо, остро, нередко в процессе их проведения возникали новые планы. Казалось бы, на склоне лет, когда острота восприятия естественно притупляется, когда ощущается усталость и груз прожитого времени, можно было бы ожидать заметного спада в интенсивности семинаров. Но, к счастью, этого не случилось. Абрам Федорович старел лишь физически, но не творчески.

Абраму Федоровичу были чужды высокомерие, зазнайство. Наоборот, он проявлял терпеливость, сдержанность, часто прибегал к дипломатическим приемам, чтобы сгладить углы, потушить конфликтные ситуации. Зная о недостатках того или иного сотрудника, он мог лишь в кругу самых близких людей давать такие оценки, как «ловкач», «Остап Бендер в науке». Самое резкое суждение об очень уж зарвавшемся научном работнике, которое я слышал от него за 30 лет тесного общения с ним, были слова: «Вы же невозможный человек!».

Для истинного демократизма А. Ф. Иоффе характерен эпизод, связанный с приездом в СССР Н. Бора и Л. Розенфельда в 1934 г. Во время их посещения лаборатории А. Ф. Иоффе мне случайно довелось быть свидетелем их беседы. Поразил контраст между непосредственностью взаимоотношений Абрама Федоровича со своими сотрудниками и несколько церемонным поведением Л. Розенфельда со своим шефом. Ученики и сотрудники Абрама Федоровича высказывались без всякого «решпекта» к своему шефу, прерывали его, дополняли, отвечали за него на вопросы гостей. Особенную активность

проявлял при этом Я. И. Френкель, оказавшийся центральной фигурой этой встречи. Любая, иногда даже не очень справедливая критика мало влияла на настроение, боевой дух, темперамент и энтузиазм Абрама Федоровича. Он умел как-то сравнительно легко оправляться от наскоков, они не задевали его ум и душу.

Абрам Федорович был человеком широких и разносторонних интересов: литература, поэзия, музыка — все это он любил, хорошо понимал и квалифицированно оценивал. Со мной Абрам Федорович большей частью говорил о живописи. Он не любил крайностей. Ему были чужды как натуралистический реализм, так и модернизм. В его квартире висели картины Н. К. Рериха, Б. М. Кустодиева, К. А. Коровина, из современников он любил Н. А. Тырсу. Ему очень нравились В. А. Серов, М. В. Врубель, И. И. Левитан. Он посещал музеи и выставки, восхищался коллекционерской деятельностью. Иногда он меня приглашал посетить с ним комиссионный магазин, где в 40-е и даже в 50-е годы можно было свободно купить неплохие этюды З. Е. Серебряковой, Е. Е. Лансере, И. Я. Билибина и других видных мастеров русской живописи начала XX в.

Абрам Федорович увлекался также литературой, любил приключенческие романы, зачитывался А. Дюма, Г. Уэллсом, особенно интересовался фантастическими сюжетами.

Наиболее яркими чертами А. Ф. Иоффе были вечно юный энтузиазм, беспредельная убежденность, что таланту, наделенному энергией и работоспособностью, доступно то, что кажется фантазией и несбыточной мечтой. Поэтому он привлекал к себе все талантливое, и все талантливое тянулось к нему. С такой же страстью он ненавидел циников в науке и людей безразличных, служивших в порядке долга, материальной заинтересованности или из соображений карьеры. Многого менялось во взглядах А. Ф. Иоффе на людей и события, но неизменно оставалось главное — сильная вера в науку, в ее могущество, в людей науки.







## НАВСТРЕЧУ XXVI СЪЕЗДУ КПСС



## Старейший заповедник страны

**В. В. Виноградов,**  
кандидат биологических наук

**С. И. Чернявская**

Астраханский заповедник им. В. И. Ленина

Огромным треугольником раскинулась дельта Волги, выделяясь яркими красками околосодной растительности и открытой воды на светло-буrom фоне Прикаспийской полупустыни.

Природные богатства дельты Волги очень велики, а обилие дичи и рыбы издавна привлекало к ней человека. Хищническое отношение к этим, казалось, неисчерпаемым богатствам привело к тому, что к началу XX в. природные ресурсы дельты катастрофически оскудели. Особенно пострадало птичье население дельты: неприимчивые промышленники производили массовый сбор яиц для изготовления туалетного мыла, а перьями и шкурками птиц украшали дамские туалеты.

Уже в первом десятилетии нашего века ученые-зоологи и прогрессивные общественные деятели России стали хлопотать об организации охраны природных богатств дельты Волги и о создании в ней заповедника. Инициатива его создания принадлежит Петровскому обществу исследователей Астраханского края во главе с ученым-краеведом Н. Н. Подъяпольским, который ездил с докладом в Москву. Инициатива была одобрена В. И. Лениным, который 16 января 1919 г. ознакомился с проектом создания заповедника. О том, какое серьезное значение придавал Владимир Ильич делу охраны природы, говорит факт организации Астраханского заповедника в разгар гражданской войны, в один из очень тяжелых моментов борьбы за Астраханский укрепленный район: с Каспия угрожали англичане, с востока — Колчак, с запада — Деникин, в ближайших селах активизировались белоказачи и кулаки. В районе свирепствовали голод и эпидемия тифа. В память о выдающейся роли В. И. Ленина

в создании заповедника в марте 1969 г., в год пятидесятилетия первого советского заповедника, ему присвоено имя В. И. Ленина.

Было решено заповедать в низовьях дельты три участка: в восточной, центральной и в западной ее частях. Отвод этих участков был завершен в 1923 г., а к началу 30-х годов, благодаря организации их охраны и проведения биотехнических мер по спасению животных в период половодья, численность многих видов была восстановлена. Участки заповедника стали местом концентрации птиц на весеннем и осеннем пролетах и на линьке. Здесь сформировались крупные гнездовые колонии цапель, караваек, колпиц и начали гнездиться лебеди-шипуны, розовые и кудрявые пеликаны. К началу 40-х годов участки заповедника уже служили резерватом, из которого шло заселение близлежащих территорий.

Общая площадь трех заповедных участков — 62,5 тыс. га. До недавнего времени участки заповедника представляли всю природу дельты, однако в настоящее время в связи с продолжающимся падением уровня Каспийского моря и регулированием стока Волги граница надводной растительности отодвинулась от южных границ участков заповедника на 40—50 км вниз по течению. Таким образом, самая динамичная часть дельты, где, кстати, наблюдается наибольшая концентрация водоплавающих птиц, оказалась вне заповедной акватории. Вот почему появилась острая необходимость в создании еще одного, четвертого, южного участка заповедника. В настоящее время вопрос этот решается в областных организациях.

Геоморфологи делят дельту Волги на две части: надводную — верхнюю по течению и подводную — нижнюю. В надводной дельте преобладают разнотравные луга с тростником и куртинами ивы по протокам. Во время паводка луга частично за-

Желтый ирис в дельте Волги.

Фото Б. К. Машкова и Г. М. Русанова.

тапливаются полыми водами, образуются полои — временные мелководные водоемы, заросшие тростником и луговыми травами. Значение покоев очень велико. Они служат местом метания икры таких важных промысловых рыб, как сазан, лещ и вобла. Здесь развиваются и некоторое время кормятся их мальки. На полах кормятся и многие виды птиц: белые и желтые цапли, каравайки, колпицы, некоторые виды уток. В нижней части надводной дельты луговые ландшафты сменяются лесными, в которых

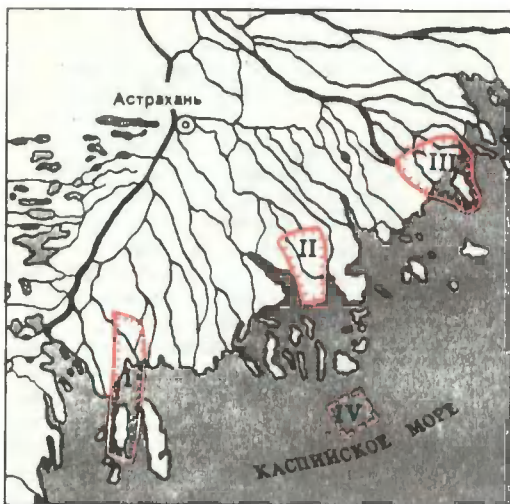


Схема дельты реки Волги с участками Астраханского заповедника: I — Дамчик, II — Трехтычинка, III — Обжорова, IV — проектируемый участок заповедника.

пойменные ивовые леса чередуются с тростниковыми крепями.

Естественные древесные насаждения дельты представлены ветлой (ива белая) и тальником (ива трехтычинковая). Изредка встречаются различные виды тополей, вязов, шелковиц. Дельтовые леса отличаются от волжских пойменных лесов почти полной непроходимостью, и только кабан пробивает сквозь крепи свои тропы. На лесных опушках и в тростниковых крепях, выходящих к солончакам или пологам, обитает фазан. Весной на утренней и вечерней зорях то тут, то там раздаются брачные крики нарядных, длиннохвостых красавцев-петухов. По этим крикам и определяют число фазаньих семей, живущих в заповедных угодьях.

Чем ниже по течению, тем интенсивнее идет деление водотоков, и поэтому

надводная часть дельты заканчивается множеством мелких протоков (ериков) и островов. Ивовые леса растут здесь узкими лентами по берегам протоков. Внутренняя часть островов, обычно пониженная, густо зарастает тростником, рогозом и другими околотовными растениями. Под пологом старых деревьев растут осоки, канареечник или ежевика. Цепляясь за стволы и ветки деревьев, вьется вверх паслен персидский. Лиана эта здесь обычно обильно цветет и плодоносит, украшая берега протоков сначала сиреневыми кистями соцветий, а осенью и зимой ярко-красными блестящими ягодами, которые привлекают фазанов, дроздов, свиристелей и других птиц.

Во время паводка сухими остаются лишь узкие полоски берегов и грив, на которых ищут спасения кабаны, волки, лисы, енотовидные собаки и устраивают гнезда фазаны и кряквы. Нередко кряквы, спасаясь от воды и хищников, откладывают свои яйца в вороньи и сорочьи гнезда. На деревьях образуют совместные гнездовые колонии большие бакланы, серые, желтые, белые (большие и малые) цапли, удивительно коротконогие ночные цапли-кваквы, каравайки и колпицы. Далеко слышны крики колониально гнездящихся птиц, особенно когда прожорливые птенцы требуют есть или дерутся. На деревьях устраивают свои гнезда могучие орланы-белохвосты, рыболовы-скопы, чеглоки и кобчики.

Для подводной части дельты, или авандельты, типичны огромные площади мелководий (глубина до 1 м). Фон здесь образует ежеголовник с пятнами из рдеста пронзеннолистного и подводные луга из валлиснерии и других погруженных растений. Встречаются острова с тростниковыми крепями и отдельные куртины тростника, заросли лотоса, нимфейника, водяного ореха — чилима. Здесь гнездятся, кормятся и отдыхают многие тысячи птиц. В летние месяцы угодья дельты расцветиваются яркими и нежными красками цветущих растений. Прекрасны, как из воска, цветы кувшинки белой, заросли нимфейника, стелющиеся по водной поверхности желтым ковром. Прелестны соцветия-зонтики сусака, которым кормятся многие обитатели дельты. Незабываемое впечатление про-

Переход от надводной дельты к подводной.

Лотос в дельте Волги.

Фото В. В. Виноградова.









На с. 44: каравайка с птенцом и брачные игры малых белых цапель (фото И. А. Мухина). На с. 45: большие бакланы и гнездо лысухи (фото Б. К. Машкова и Г. М. Русанова).





Желтые цапли у гнезда.

Фото В. В. Виноградова.

изводят цветущие заросли лотоса: на фоне огромных темно-зеленых листьев высоко поднятые на цветоножках крупные розовые цветы. В последние годы общая площадь зарослей лотоса в дельте занимает более 2 тыс. га, и теперь лотос не только декоративное, но и важное кормовое растение, у которого поедаются корневища, цветоножки, орехи.

Важным кормовым растением является и чилим. В дельте чилим встречается повсеместно, но самые большие заросли он образует в мелководных заливах и в средней части авандельты. Крупные, богатые крахмалом орехи чилима по вкусу напоминают каштаны и служат излюбленным кормом кабанам и серым гусям.

Мелководья и протоки дельты изобилуют рыбой. Особенно много ее здесь во время нереста или прохода на нерест в верховья Волги и ее притоки. На участках заповедника встречаются 56 видов рыб. В значительном количестве водятся сазан, лещ, сом.

В заповеднике обитает 31 вид млеко-

питающих, и среди них кабан, водяная крыса, лисица, выдра, горностай и акклиматизированные в 1936—1954 гг. енотовидная собака, ондатра и бобр.

Орнитологи заповедника установили, что в дельте встречаются более 260 видов птиц, из которых 106 выводят в заповеднике свое потомство. Значительная часть птиц прилетает в дельту гнездиться издалека: из Ирана, Судана, Египта и даже из Индии и средней части Африканского материка. По последним данным орнитологов заповедника, в дельте гнездится до 3,5 тыс. пар больших белых цапель, более 4 тыс. пар желтых цапель, около 2 тыс. пар лебедей-шипунцов, 12 тыс. пар серых гусей, 4,5 тыс. пар красноносых нырков, 8 тыс. пар крякв, до 200 тыс. пар лысух и многие тысячи других птиц. Однако по запасам кормов и пригодной для гнездования площади в дельте может гнездиться значительно больше водоплавающих птиц. Большим препятствием к гнездованию названных птиц являются: паводок, нагонные ветры-моряны, затапливающие и разрушающие гнезда, деятельность кабана и енотовидной собаки, а также пребывание людей в угодьях в гнездовой период. Потери кладок от этих причин частично могут быть





Лебедь-шипун.

Фото В. В. Виноградова.

восполнены устройством искусственных гнезд для уток и гусей. В заповеднике уже устраиваются искусственные гнезда для привлечения серых гусей и крякв.

Угодья дельты Волги издавна известны как места концентрации уток на линьке. Отпраздновав весной свадьбу где-нибудь на уральских или приволжских водоемах, селезни многих видов уток, покинув своих подруг на гнездах, в мае — июне летят в дельту Волги линять. В 70-е годы в дельте линяло свыше 400 тыс. уток.

Особенно поражает дельта Волги обилием птиц во время пролета весной и осенью. В Европейской части СССР только в Астраханском заповеднике еще можно увидеть тысячные стаи серых гусей, лебедей (кликун и шипунов) и скопления уток и лысух из 40—50 тыс. птиц! Весной, торопясь к родным местам на гнездовья в Поволжье, на Урал, в Западную Сибирь и в Казахстан, птицы почти не задерживаются в дельте Волги, зато осенью обильные и разнообразные корма и пре-

красные укрытия от непогоды привлекают тысячи птиц на длительный отдых и кормежку. Последние стаи лебедей, гусей и уток покидают заповедник только после установления ледяного покрова на мелководье.

Астраханский заповедник, как и другие заповедники в нашей стране, — научное учреждение. В нем живут и работают ученые 12 специальностей: гидролог, геоморфолог, ботаник, энтомолог, ихтиологи, орнитологи и другие. В настоящее время сотрудники заповедника изучают биоценозы дельты Волги и побережий Северного Каспия в условиях работы крупных гидрологических сооружений и хозяйственного освоения угодий. С 1975 г. дельта Волги отнесена к угодьям, имеющим международное значение как место обитания водоплавающих птиц.

Сотрудники заповедника ежегодно проводят учет численности основных видов охраняемых животных: кабана, фазана, колониально гнездящихся (чайки, крачки, баклана, цапли, колпицы, каравайки) и водоплавающих птиц в период гнездования, на осеннем пролете и на зимовках в районах Северного Каспия с помощью авиации. За годы существования заповедника на



В летние месяцы дельта расцветается яркими красками цветущих растений: нимфейника, горца, ежеголовника (сверху вниз).

Фото Б. К. Машкова и Г. М. Русанова.

Белые цапли в полете.

Фото И. А. Музина.



лапки более 200 тыс. птиц были надеты метки-кольца. В последние 5 лет здесь ежегодно кольцуют 20—30 тыс. птиц. Благодаря этим меткам ученые определяют возраст, пролетные пути птиц, места их гнездования, линьки и зимовки.

Вышли в свет 13 выпусков трудов заповедника. Сотрудники заповедника — постоянные активные участники всех совещаний и конференций по вопросам охраны природы, природопользования, организации охотничьего хозяйства. Заповедник служит базой для работы ученых многих биологических институтов страны. В нем проходят практику студенты различных учебных заведений — будущие ученые и педагоги.

За успехи, достигнутые в работе по изучению природного комплекса дельты Волги, и охрану Астраханский заповедник им. В. И. Ленина в январе 1971 г. был награжден орденом Трудового Красного Знамени.





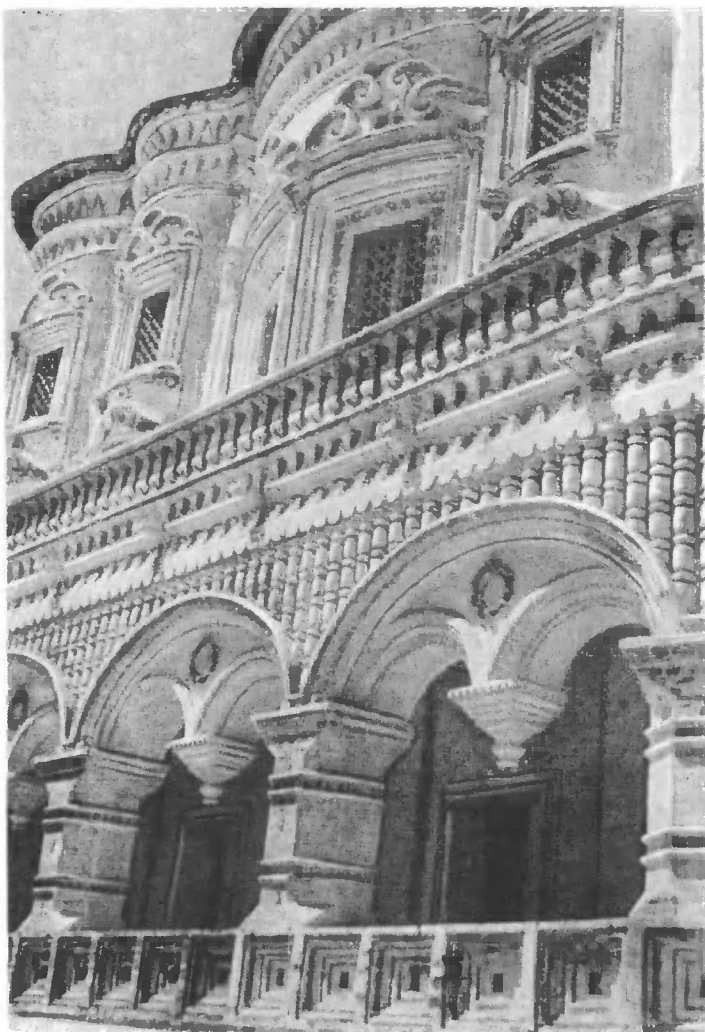
## Подмосковный известняк в Астраханском кремле

**А. М. Викторов,**

руководитель группы исследований каменных материалов научно-исследовательского сектора института «Гидропроект» им. С. Я. Жука.

Самая заметная архитектурная достопримечательность Астрахани — Успенский собор в кремле. Выстроенный в 1700—1710 гг. по замыслу и под руководством Дорофея Мякишева (крепостного крестьянина ярославского помещика Львова), он на 60 м вознесся своими главами над плоской безлесной долиной Волги, привлекая внимание своеобразной архитектурой и белокаменным великолепием. Карнизы, опоры арок, колонки, розетки, затейливые наличники окон, «гроздь винограда» над входом — все это множество резных деталей из фасонного кирпича и белого камня и теперь находится почти в таком же состоянии, как и в петровское время. Многолетние побелки известью способствовали их сохранности и лишь несколько десятков деталей потребовали замены при реставрации собора в 1950—1965 гг. Однако заменить детали из белого камня не удалось: его просто не оказалось не только в окрестностях Астрахани, но и по всей Волге, вплоть до ее верховьев (пришлось использовать цемент).

Откуда же взялся в астраханском соборе этот белый камень-известняк, столь податливый резцу и теслу, вязкий при обработке и стойкий на протяжении почти трех столетий? Подобный же вопрос возникает и когда речь идет о Строгановской церкви, построенной к 1719 г. в Нижнем Новгороде по заказу купца и промышленника Строганова и хорошо известной своей изумительной белокаменной резьбой оконных налични-



Опоры арок, колонки, карнизы, розетки и множество других белокаменных деталей Успенского собора в Астраханском кремле (слева) и наличники окон Строгановской церкви (в центре) и церкви на Гордеевской улице в г. Горьком (справа) выполнены из подмосковного мячковского известняка. Раковина *Fusulina quasicylindrica*

(справа, внизу), обнаруженная в известняке церкви на Гордеевской улице, типична для подмосковных отложений мячковского горизонта.

ков, карнизов, колонок. На некотором расстоянии она воспринимается будто мраморная, но это все тот же простой белый однородный известняк. Из подобного известняка построена еще одна, более древняя церковь Поволжья. Она была сооружена повелением того же Строганова в 1697 г. на Гордеевской ул. Ниж-

бы. Из плит этих известняков сложен цоколь стен и башен Нижегородского кремля, но для украшения зданий они не применялись.

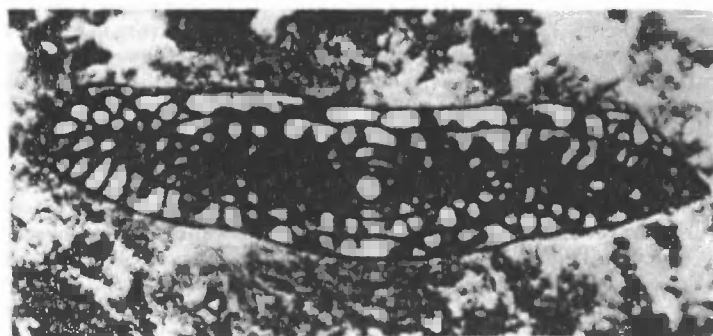
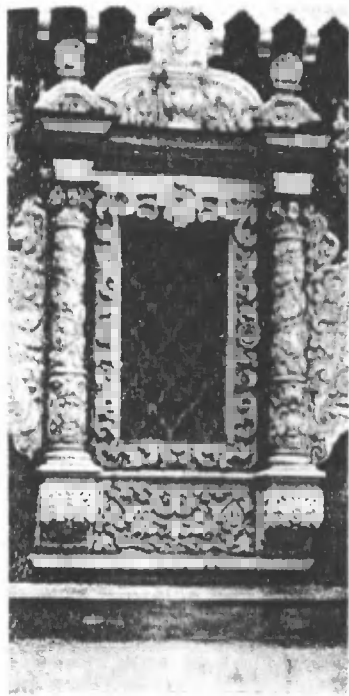
В 1976—1979 гг. автор этой заметки исследовал образцы белого камня, отпавшие от декора обеих строгановских церквей и астраханского собора.

в Переславль-Залесском<sup>1</sup> и другие белокаменные памятники зодчества в Подмосковье.

Этот белый известняк в огромных количествах добывался с XII по XIX в. в Подмосковье, преимущественно в устье р. Пахры, близ сел Мячково и Домодедово, в карьерах или подземных выработках. Здесь залегают слои известняков, по возрасту относящиеся к мячковскому и подольскому горизонтам московского яруса среднекаменноугольного времени. Эти морские отложения содержат многочисленные раковины простейших организмов — фораминифер. Важнейшими из них палеонтологи считают фораминиферы из семейства *Fusulinidae*. Характерной сигарообразной формы, фузулиниды позволяют очень подробно подразделить горизонты известняков, в которых они заключены.

Палеонтологические определения, проведенные Е. А. Рейтлингер и М. Н. Соловьевой (Геологический институт АН СССР), показали, что в образцах известняка из упомянутых сооружений Поволжья содержатся специализированные формы фузулинид: *Fusulinella* ex gr. *Kumpani*, *Fusulina quasicylindrica*, *Fusulinella mosquensis* и другие, присущие только подмосковным отложениям мячковского горизонта.

Это означает, что белый камень доставлялся в Поволжье из мячковских карьеров и штолен Подмосковья. Видимо, затеянная зодчими петровских времен его перевозка на тысячи километров (а до Астраханского кремля почти 3200 км) оправдала себя отличным качеством камня<sup>2</sup>. Этот исторический опыт использования долговечного и дешевого мячковского известняка весьма показателен и полезен для современных реставрационных работ с памятниками белокаменного зодчества.



него Новгорода. Никаких архивных свидетельств происхождения белого камня в названных сооружениях не сохранилось. Между тем обнажающиеся по берегам Волги от Горького до Казани слои известняков имеют серый или желтый цвет, они тверды и непригодны для резь-

Как ни удивительно, но эти известняки по цвету, петрографическому и химическому составу, структуре и физико-механическим свойствам оказались аналогичны белому камню, из которого построены соборы во Владимире, Загорске, Московском Кремле, стены монастырей

<sup>1</sup> См.: Викторова А. М., Камень в сооружениях Переславль-Залесского. — «Природа», 1978, № 1.

<sup>2</sup> О составе и свойствах мячковского известняка см., например: Викторова А. М. От камня к... атмосфере. — «Природа», 1973, № 2.



## Магнитосфера рентгеновских пульсаров

**В. М. Липунов**

Рисунки автора



Владимир Михайлович Липунов, аспирант кафедры астрофизики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Область научных интересов — исследование физических условий вблизи аккрецирующих нейтронных звезд.

12 декабря 1970 г. началось интенсивное исследование Вселенной в рентгеновских лучах — в этот день был запущен специализированный американский рентгеновский спутник «Ухуру»<sup>1</sup>. Руководитель программы американский астрофизик Р. Джаикони, возможно, и сам не ожидал, насколько удачным будет эксперимент: за 429 дней наблюдений были открыты сотни рентгеновских источников. В результате этого и последующих экспериментов, проведенных специалистами различных стран, перед астрономами предстала удивительная картина неба в рентгеновских лучах.

Представим себе, что земная атмосфера пропускала бы рентгеновские лучи и земляне обладали бы рентгеновским, а не оптическим зрением. Вместо застывших созвездий и почти не меняющих свой блеск звезд люди видели бы на небе непрерывно изменяющееся многообразие объектов. Звезды исчезали бы и появлялись буквально на глазах. Релятивистские звезды можно было бы очень просто узнать: если звезда меняет свою яркость за время, меньшее нескольких секунд, то

это черная дыра или, по крайней мере, нейтронная звезда. «Сириусом» рентгеновского неба оказалась бы незаметная для невооруженного глаза оптическая звездочка Скорпион X-1. Летом высоко над головой, на месте созвездия Лебедя, мы увидели бы треугольник ярких звезд — рентгеновские источники Лебедь X-1, -2, -3. Ярчайшая звезда этого созвездия — рентгеновский источник Лебедь X-1 — вероятно, черная дыра. Удивительные превращения произошли бы с некоторыми далекими галактиками: вместо туманных спиралей и линзовидных фигур в мощный рентгеновский телескоп мы бы увидели лишь звездообразные точки, вспыхивающие и угасающие за считанные часы.

Наше внимание обязательно привлекли бы переменные звезды, поражающие строгую периодичностью изменения блеска — рентгеновские пульсары<sup>2</sup>. Именно о них и пойдет речь. Еще до запуска «Ухуру» стало ясно (в основном благодаря теоретическим работам группы советских астрофизиков под руководством Я. Б. Зельдовича), что механизм выделения энергии в компактных рентгеновских

<sup>1</sup> Подробнее об этом спутнике см., например: Курт В. Г. Перспективы внеатмосферных астрономических исследований. — «Природа», 1972, № 5.

<sup>2</sup> О рентгеновских пульсарах см.: Сюняев в Р. А., Шакура Н. И. Жизнь умирающих звезд (Совсем другая Вселенная). — «Природа», 1975, № 10.

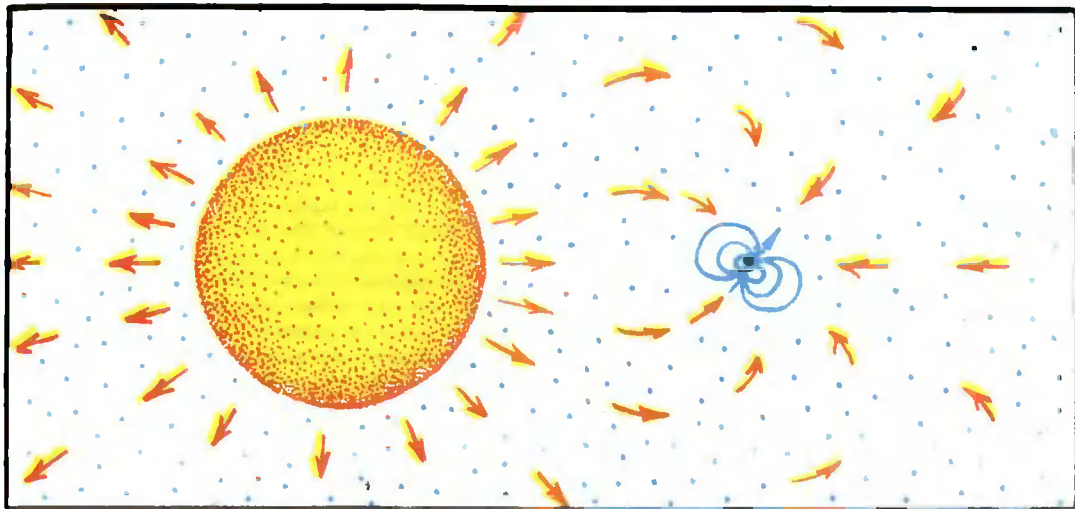
источниках связан с аккрецией газа на релятивистские звезды. Напомним, что собой представляют рентгеновские пульсары.

**«...ТЕОРИЯ АККРЕЦИИ НА ЗАМАГНИЧЕННУЮ ВРАЩАЮЩУЮСЯ НЕЙТРОННУЮ ЗВЕЗДУ, ВХОДЯЩУЮ В СОСТАВ ТЕСНОЙ ДВОЙНОЙ СИСТЕМЫ...»**

В научных статьях, посвященных рентгеновским пульсарам, часто можно встре-

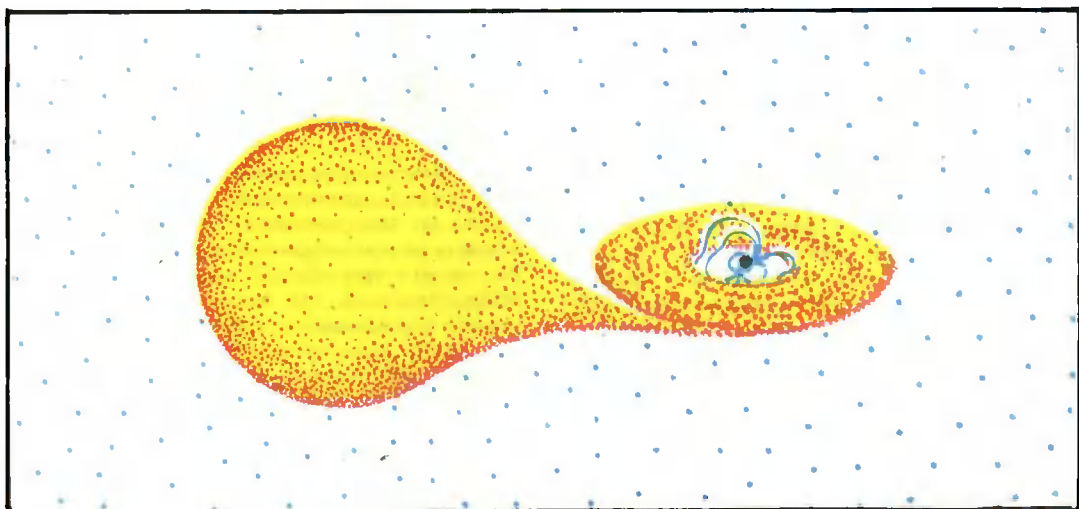
тить не слишком изящную в литературном отношении фразу, поставленную нами в подзаголовок. Однако ее тяжеловесность полностью окупается информативностью — в ней содержатся все основные идеи, призванные объяснить феномен рентгеновского пульсара.

Действительно, источником энергии рентгеновского пульсара служит энергия гравитационного поля нейтронной звезды, которая затягивает окружающее вещество, заставляя его падать (т. е. аккрецировать) и излучать. Под воздействием магнитного



Перетекание вещества в двойной системе в виде звездного ветра. Вблизи нейтронной звезды (справа) аккрецирующее вещество движется практически радиально.

Перетекание вещества в виде струи газа в двойной системе. Вокруг нейтронной звезды образуется аккреционный диск.



Таблица

## Рентгеновские пульсары

Название пульсара	Период вращения [сек]	Период двойной системы [дни]	Характерное время ускорения [годы]	Светимость [ $\cdot 10^{31}$ эрг/с]
SMC X-1	0,71	3,9	2000	5 0
Her X-1	1,24	1,7	300 000	1
4U 0115+63	3,6	24,3	30 000	3
Cen X-3	4,8	2,1	4000	4
4U 1626-67	7,7	!	5000	!
A 0535+26	104	$\geq 20$	30	4
GX1+4	130	!	50	3
A 1239-59	191(!)	!	!	!
GX 304-1	272	!	!	0,2
Vela X-1	283	9	10 000	0,1
4U 1145-61	297	!	!	$\sim 0,1$
A 1118-61	405	!	!	!
A 1540-53	529	3,7	1000	0,4
GX 301-2	699	23	125	0,3
X Per	836	!	6000	0,001
GX 17+2	1914 (!)	!	!	0,5
4U 1700-37	5808 (!)	3,4	!	0,6

поля рентгеновское излучение распространяется в строго определенном направлении, а вращение нейтронной звезды приводит к тому, что излучение попадает на Землю строго периодически. Почему в состав двойной системы обязательно должна входить нейтронная звезда? Для этого имеются по крайней мере две причины. Во-первых, из наблюдений известно, что период вращения некоторых пульсаров составляет лишь несколько секунд, поэтому звезда должна быть достаточно компактной, иначе центробежные силы ее разорвут. Во-вторых, пульсары-то рентгеновские. Спектр их излучения близок к тепловому с температурой в сотни миллионов градусов, и максимум энергии приходится на рентгеновский диапазон длин волн. Следовательно, аккрецирующий газ должен падать с достаточно большой скоростью, чтобы после удара о поверхность звезды он смог приобрести столь высокую температуру. А такие скорости падения характерны только для нейтронных звезд (которые при малых размерах обладают очень большой плотностью).

Наконец, чтобы нейтронная звезда могла иметь светимость, наблюдаемую у пульсаров, на ее поверхность в единицу времени должно падать достаточное количество вещества. Простые оценки показывают, что требуемая скорость аккреции (т. е. количество вещества, падающего в единицу времени на поверхность нейтронной звезды) должна быть порядка сотен миллиардов тонн в секунду. Для этого,

как впервые отметил И. С. Шкловский, необходимо, чтобы нейтронная звезда входила в состав тесной двойной системы<sup>3</sup>.

Обычно вторым компонентом в такой двойной звездной системе является нормальная звезда, которая может поставлять «топливо» нейтронной звезде двумя различными путями: либо в виде звездного ветра, либо — струи газа. В последнем случае перетекающее вещество всегда образует аккреционный диск. Обычно говорят, что вещество, падающее на нейтронную звезду, проникает в окружающее ее магнитное поле, затем «вмораживается» в него и стекает по силовым линиям на магнитные полюса нейтронной звезды. Но как это происходит, стало проявляться лишь в самые последние годы.

### МАГНИТОСФЕРА НЕЙТРОННОЙ ЗВЕЗДЫ

Аккрецирующее вещество представляет собой горячую плазму, хорошо проводящую электрический ток. Прежде чем попасть на магнитные полюса, плазма должна пройти громадные пласты магнитного поля. Известно, что в проводнике, движущемся в магнитном поле, возникает электрический ток, который, в свою очередь, создает собственное магнитное поле. В результате такого электромагнитного взаимо-

<sup>3</sup> Shklovsky I. S. «Astrophys. J.», 1967, v. 148, L. 1.

действия начинает меняться движение плазмы, а вследствие этого — структура магнитного поля. Поэтому необходимо исследовать структуру магнитного поля нейтронной звезды, на которую происходит аккреция вещества, так как именно оно «управляет» движением плазмы внутри магнитосферы. Правильное понимание этих процессов позволит определить некоторые параметры нейтронных звезд, используя данные наблюдений. Например, наблюдаемая величина — скорость уменьшения периода пульсара — определяется, с одной стороны, инерционными свойствами нейтронной звезды, а с другой стороны, зависит от того, где и каким образом происходит передача углового момента от аккрецирующего вещества нейтронной звезды, т. е. определяется строением магнитосферы.

В астрономии прямые методы проверки гипотез крайне затруднены в силу огромной удаленности объектов исследования. Однако за последние двадцать лет появились исключения; так, благодаря ракетной технике, исследование тел Солнечной системы зачастую ведется прямо на месте. Некоторые результаты этих исследований имеют прямое отношение к проблеме рентгеновских пульсаров.

Как известно, наше Солнце постоянно испускает в космическое пространство заряженные частицы, в одну секунду оно теряет  $10^{11}$  г вещества. Поток этих частиц, называемый солнечным ветром, представляет собой хорошо проводящую плазму. Из экспериментов, проведенных с помощью космических аппаратов, известно, что в результате взаимодействия солнечного ветра с дипольным магнитным полем Земли вокруг нашей планеты образуется магнитосфера; магнитное поле Земли оказывается обжитым набегающим потоком плазмы. Магнитосфера обнаружена также еще у двух планет Солнечной системы — Меркурия и Юпитера. Таким образом, мы можем ожидать, что взаимодействие плазмы, перетекающей со второго компонента, с магнитным полем нейтронной звезды также должно сопровождаться образованием магнитосферы. Однако условия, в которых формируется магнитосфера нейтронной звезды, входящей в состав тесной двойной системы, существенно отличаются от земных. При аккреции вещества в тесных двойных системах решающую роль играет сила гравитации со стороны объекта, обладающего магнитным полем. Влияние этой силы в условиях Солнечной системы крайне мало: вспом-

ним, что скорость частиц солнечного ветра в десятки раз больше второй космической скорости (т. е. скорости, начиная с которой частица не захватывается центром тяготения) любой из планет. А в рентгеновских системах ситуация прямо противоположная — вторая космическая скорость для нейтронной звезды  $\sim 100\,000$  км/с, что в сотни раз больше скорости звездного ветра. Поэтому большое количество вещества захватывается нейтронной звездой, что и приводит к возникновению мощного рентгеновского источника — пульсара. Количество вещества, поставляемое на нейтронную звезду, также несоизмеримо с потоком солнечного ветра в Солнечной системе.

Казалось бы, миллиарды тонн, падающие на крохотную нейтронную звезду размером в несколько десятков километров, сомнут ее магнитное поле и об образовании магнитосферы не может быть и речи. Но нейтронные звезды обладают гигантскими магнитными полями — характерная напряженность магнитного поля на ее поверхности составляет  $10^{12}$  Гс. Поэтому магнитные силы начинают играть существенную роль уже на расстояниях в несколько тысяч километров от поверхности.

Для аккрецирующей плазмы характерна высокая проводимость. При подходе к нейтронной звезде вещество разогревается до температуры в несколько миллионов градусов. При такой температуре в плазме под воздействием магнитного поля нейтронной звезды возникают электрические токи, которые практически не затухают. Магнитное поле токов, текущих в такой плазме, в свою очередь, стремится скомпенсировать внешнее магнитное поле, т. е. плазма не пропускает в себя магнитное поле нейтронной звезды. Это так называемое явление диамагнетизма<sup>4</sup>.

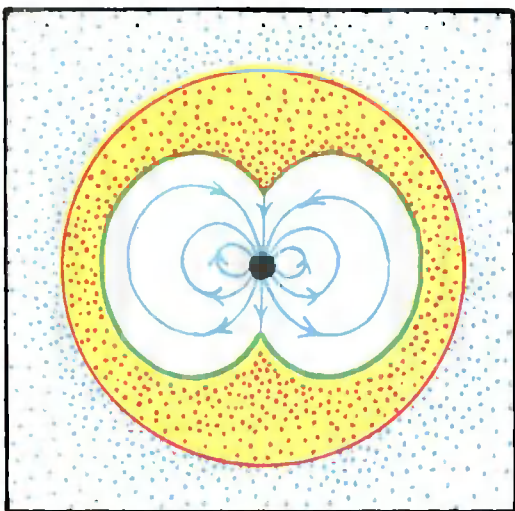
Для случая радиального падения вещества американскими астрофизиками Дж. Аронсом и С. Ли (Калифорнийский университет, Беркли, США) была впервые рассчитана магнитосфера нейтронной звезды<sup>5</sup>. В такой модели падающая плазма сжимает магнитное поле нейтронной звезды внутри замкнутой полости — магнитосферы. Если давление набегающего потока вещества будет больше давления магнит-

<sup>4</sup> Впервые взаимодействие аккрецирующего вещества с магнитным полем нейтронной звезды было рассмотрено О. Х. Гусейновым и П. Р. Амузелем (Шемахинская астрофизическая обсерватория АН АзербСССР).

<sup>5</sup> Arons J., Lea S. «Astrophys. J.», 1976, v. 207, p. 914; v. 210, p. 792.

ного поля, то магнитосфера будет сжиматься, пока оба эти давления не уравновесят друг друга. Так и образуется стационарная магнитосфера.

Каковы физические условия вблизи такой магнитосферы? Расчет показывает, что ее размеры равны нескольким тысячам километров, а напряженность магнитного поля на границе достигает  $10^6$  Гс. Вокруг магнитосферы образуется ударная волна, в которой вещество разогревается до температуры  $\sim 10^9$  К, а плотность плазмы на границе магнитосферы равна



Магнитосфера нейтронной звезды в случае сферически-симметричной аккреции. Вдали от нейтронной звезды газ (синие точки) движется радиально. Затем, проходя ударную волну (показана красной линией), он разогревается и замедляется. На границе магнитосферы (зеленая линия) давление аккрецирующей плазмы равно давлению магнитного поля.

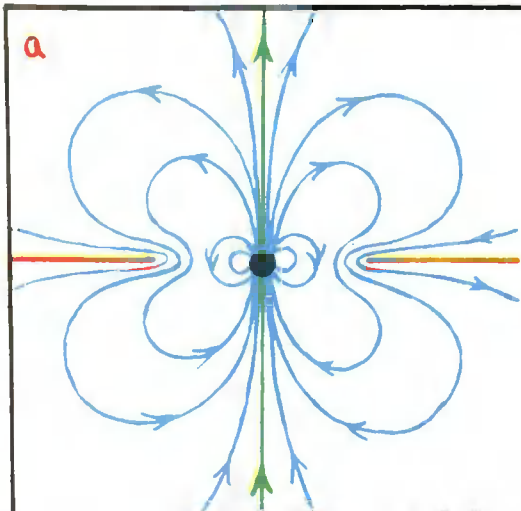
$10^{-9}$  г/см<sup>3</sup>. Для сравнения укажем, что на границе земной магнитосферы напряженность магнитного поля составляет  $10^{-3}$  Гс, а плотность частиц солнечного ветра — всего лишь  $10^{-23}$  г/см<sup>3</sup>.

Форма границы магнитосферы рассчитывалась в предположении, что внутри магнитосферы нет плазмы, а вне ее нет магнитного поля. В действительности плазма должна проникать в магнитосферу и это приведет к размытию ее границы.

Возможно, сферически-симметричная модель аккреции — слишком грубое приближение к реальной картине аккреции в двойной системе. В действительности вещество, перетекающее с нормаль-

ного компонента, обладает значительным моментом вращения по отношению к нейтронной звезде. В результате вещество не прямо падает на нейтронную звезду, а выходит на орбиту вокруг нее — образуется кольцо газа. Из-за столкновений отдельных частиц в газе кольцо постепенно расплывается в тонкий диск<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Теория аккреционных дисков была разработана Р. А. Сюняевым и Н. И. Шакурой. Подробнее об этом см., например: Sunyaev R. A., Shakura N. I. «Astronom. Astrophys.», 1973, v. 23, p. 337.



Структура магнитного поля пульсара (а в разрезе) в случае дисковой аккреции. Сечение диска показано в виде двух красных лучей; а — магнитная ось нейтронной звезды перпендикулярна диску, б — магнитная ось наклонена под некоторым углом к диску, в — магнитная ось лежит в плоскости диска. К диску в общем случае приложена магнитная сила (показана стрелками), стремящаяся развернуть его вдоль магнитной оси. Зеленым цветом обозначены силовые линии магнитного поля, выходящие из полюсов;  $N_1$  и  $N_2$  — нейтральные точки, в которых напряженность магнитного поля обращается в ноль.

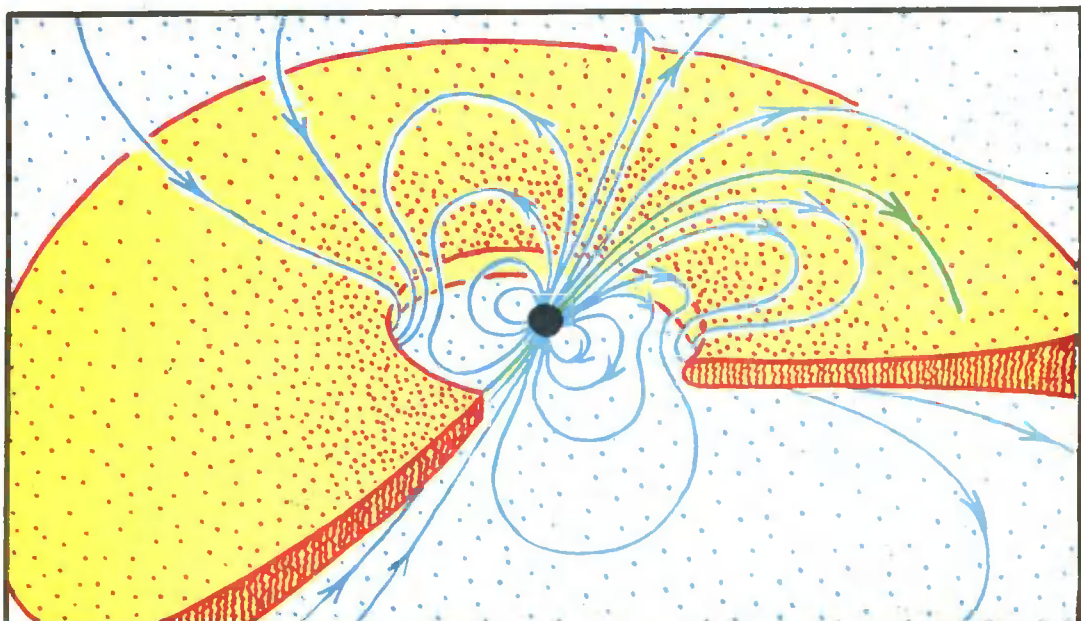
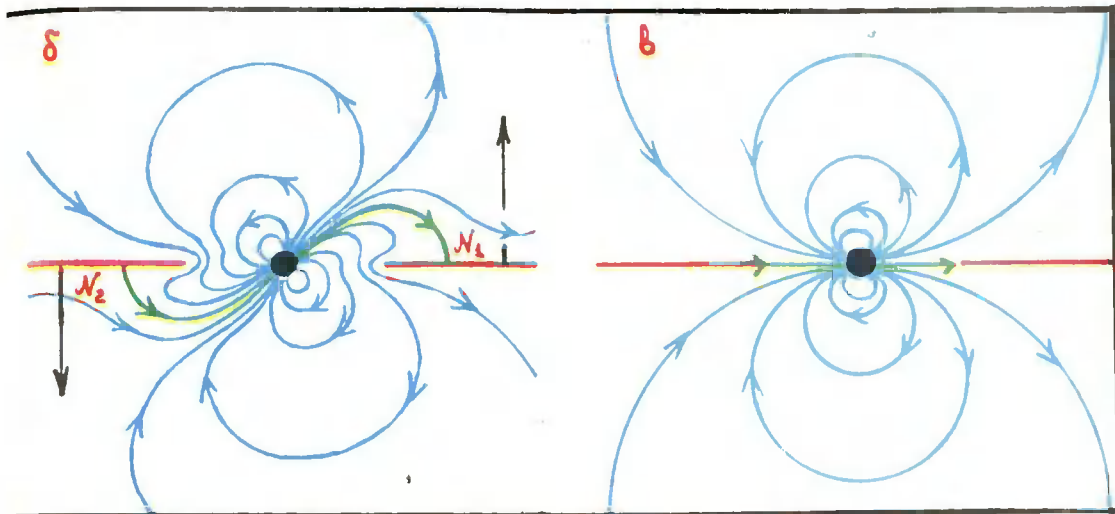
Пространственная картина магнитного поля пульсара и аккрецирующего диска для случая, когда магнитная ось наклонена под некоторым углом к диску.



В первом приближении вещество в диске движется по круговым кеплеровским орбитам, т. е. с различной угловой скоростью на разных расстояниях от центра притяжения. Из-за турбулентных движений между соседними слоями диска возникают вязкие силы и газ по закрученной спирали приближается к нейтронной звезде. Движение элемента газа в диске напоминает движение искусственного спутника, попавшего в верхние слои земной атмосферы. Спутник тормозится за счет сопротивления воздуха и ускоряется силой притяжения;

половина гравитационной энергии идет на увеличение кинетической энергии спутника (или элемента газа в диске), а другая половина переходит в тепло и излучение. Таким образом, внутренние области аккреционного диска оказываются разогретыми до температуры  $\sim 10^8$  К. Однако, несмотря на разогрев, по мере приближения к центру тяготения диск остается тонким, так как увеличивается нормальный к поверхности диска компонент силы притяжения со стороны нейтронной звезды.

Горячий диамагнитный диск будет



сжимать магнитное поле нейтронной звезды до тех пор, пока плазма не начнет проникать внутрь магнитосферы. В первом приближении, как и в случае сферически-симметричной аккреции, автором статьи была определена крупномасштабная структура магнитного поля (предполагалось, что внутри магнитосферы плазма отсутствует)<sup>7</sup>. Если магнитная ось нейтронной звезды не лежит в плоскости диска, то результирующее магнитное поле существенно отличается от поля невозмущенного диполя. Его напряженность резко возрастает вблизи внутреннего края диска, а при удалении от нейтронной звезды падает быстрее (как  $\sim 1/r^4$ ), чем по дипольному закону ( $1/r^3$ ). В реальной ситуации толщина аккреционного диска лежит в пределах от 10 до 100 км, а расстояние от оси диска до нейтронной звезды — от нескольких сотен до тысяч километров. При напряженности магнитного поля на поверхности нейтронной звезды  $\sim 10^{12}$  Гс на внутреннем краю диска магнитные поля достигают  $10^7$ — $10^9$  Гс. Напомним, что вещество диска участвует в кеплеровском вращении и скорость движения во внутренних областях диска измеряется десятками тысяч километров в секунду. При скорости аккреции, характерной для рентгеновских пульсаров (100 млрд т/с), плотность плазмы в диске оказывается вполне ощутимой:  $\sim 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup>.

Когда магнитная ось нейтронной звезды наклонена под некоторым углом к плоскости диска, полярные силовые линии входят в диск в двух симметрично расположенных точках  $N_1$  и  $N_2$ , называемых нейтральными, поскольку напряженность магнитного поля в них обращается в ноль.

При произвольном наклоне магнитной оси нейтронной звезды к оси диска напряженность магнитного поля сверху и снизу от диска различна. Поэтому создается момент сил, стремящийся развернуть диск вдоль магнитной оси пульсара.

Какая возникает картина, если мы будем учитывать еще вращение нейтронной звезды? Точные решения такой задачи пока еще не получены, однако возможен качественный анализ. Прежде всего, полезно ввести понятие быстрого и медленного вращения. Если скорость вращения магнитосферы вблизи ее границы превышает величину второй космической скорости в том же месте, то говорят о быст-

ром вращении пульсара, а если скорость вращения магнитосферы меньше первой космической, то говорят, что нейтронная звезда вращается медленно. Очевидно, такое разделение справедливо лишь для сферически-симметричной аккреции, когда магнитосфера имеет ограниченные размеры. Медленное вращение слабо влияет на описанную выше структуру магнитосферы. Гораздо более сложным является случай быстрого вращения. В 1975 г. А. Ф. Илларионов и Р. А. Сюняев (Институт космических исследований АН СССР) высказали предположение, что быстрое вращение приводит к эффекту «пропеллера» — магнитное поле нейтронной звезды разбрасывает аккрецирующее вещество подобно лопастям пропеллера<sup>8</sup>. При этом нейтронная звезда теряет свою вращательную энергию, т. е. замедляется. По-видимому, такой режим реализуется при достаточно малых скоростях аккреции. Когда же вещества падает слишком много, нейтронная звезда не в состоянии его разбрасывать и вокруг нее образуется массивная оболочка. По мере роста массы оболочки (аккреция ведь продолжается) магнитосфера становится все более сферической и сжимается. На ее границе из-за магнитного трения происходит выделение тепла — плазма нагревается, а это тоже препятствует ее проникновению в магнитосферу и приводит к уменьшению линейной скорости вращения на ее границе. Таким образом, быстрое вращение переходит в медленное, происходит сброс оболочки на поверхность нейтронной звезды и в результате — мощная рентгеновская вспышка. Затем весь процесс повторяется снова. Мы видим, что такой источник больше похож на рентгеновский барстер (от англ. «burst» — вспышка), чем на пульсар.

В случае дисковой аккреции угол наклона магнитной оси пульсара к оси диска периодически меняется и следовательно напряженность магнитного поля в каждой точке периодически меняется. Но для «мгновенных» фотографий этого поля применима описанная выше статическая модель.

Говоря о структуре магнитного поля, мы везде предполагали, что диск является жестким. На первый взгляд кажется, что такое предположение ничем не оправ-

<sup>7</sup> Липунов В. М. «Астроном. ж.», 1978, т. 55, с. 1233.

<sup>8</sup> Illarionov A. F., Sunyaev R. A. «Astronom. Astrophys.», 1975, v. 39, p. 185.

дано, ведь аккреционный диск — это газообразное тело, плотность которого в среднем меньше плотности воздуха у поверхности Земли. Да, действительно, вещество диска совсем не похоже на кристаллические твердые тела, однако вспомним, что вещество в диске вращается с огромной скоростью вокруг нейтронной звезды. Именно центробежные силы и придают жесткость диску. Магнитные силы, стремящиеся развернуть диск вдоль магнитной оси, гораздо меньше центробежных сил.

### «ХОРОШИЙ» ПУЛЬСАР — «ПЛОХОЙ» ТОКАМАК

Одной из наиболее сложных задач, которые необходимо решить на пути создания управляемого термоядерного реактора, — удержание плазмы в магнитном поле. Понадобилось три десятилетия упорного труда физиков, прежде чем появились первые результаты. И все же решенные проблемы еще впереди. Самая совершенная магнитная ловушка — токамак — обеспечивает удержание плазмы в течение всего лишь долей секунды.

В этом смысле перед астрофизиками встает противоположная задача, правда, здесь эксперименты проводит сама природа. Действительно, чтобы осуществить термоядерную реакцию, необходимо удерживать плазму в магнитном поле, а чтобы пульсар постоянно излучал, плазма должна постоянно проникать в магнитное поле нейтронной звезды. Поскольку стационарные рентгеновские пульсары действительно существуют, необходимо понять, каким образом плазма проникает внутрь магнитосферы и падает на поверхность нейтронной звезды, где, собственно, и возникает жесткое рентгеновское излучение. Следует отметить, что все эти проблемы далеки еще от окончательного решения и пока выяснены лишь самые главные процессы, протекающие на границе магнитосферы.

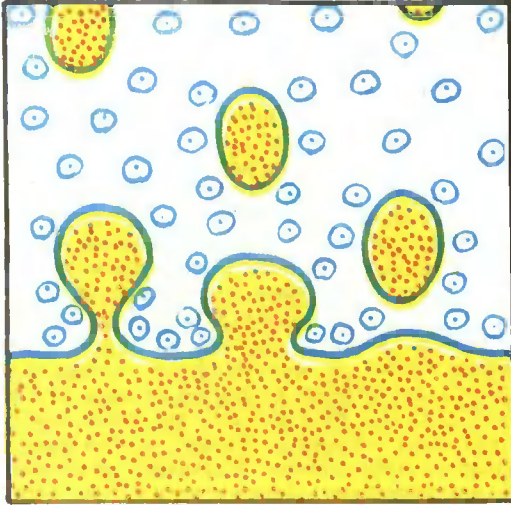
Представим себе простой эксперимент: в прозрачную чашку наливается подсолнечное масло, а сверху вода; как бы осторожно вы ни проделывали эту операцию, результат всегда будет одним и тем же — масло всплывет вверх. Любый школьник объяснит этот опыт — масло легче воды, и на него действует выталкивающая сила Архимеда. Это действительно так, но полезно воспользоваться и энергетическим принципом, который гласит, что любая замкнутая система стремится занять положение с минимальной энергией. Рассмотрим две ситуации — масло сверху,

а вода снизу, и наоборот. В обоих случаях вес верхней жидкости уравновешен силой давления нижней, и жидкости находятся в равновесии. Однако если подсчитать энергию сосуда, то окажется, что первая ситуация (когда легкая жидкость сверху) энергетически более выгодна. Неустойчивость положения тяжелой жидкости над легкой в поле тяжести математически была исследована в начале века Дж. Релеем и Дж. Тейлором. И, как выяснилось недавно, именно неустойчивость Релея — Тейлора заставляет плазму проникать внутрь магнитосферы нейтронной звезды в сферически-симметричном случае. Здесь роль тяжелой и легкой жидкостей играют плазма и магнитное поле, соответственно: плазма «лежит» на магнитной «жидкости» в поле тяжести нейтронной звезды. Весь вопрос в том, какая «жидкость» тяжелее и под каким углом к границе магнитосферы направлена сила притяжения. Вблизи магнитного экватора сила тяжести перпендикулярна границе, а над магнитными полюсами направлена почти по касательной к границе. Это означает, что на экваторе роль силы тяжести больше и здесь в первую очередь должна развиваться неустойчивость Релея — Тейлора. Если плазма окажется достаточно холодной (а чем холоднее газ, тем он плотнее), то сразу сработает неустойчивость Релея — Тейлора и плазма небольшими сгустками проникнет в магнитосферу. Далее сгустки будут дробиться, плазма «вморозится» в магнитное поле и по силовым линиям потечет к полюсам нейтронной звезды. Однако расчеты Дж. Аронса и С. Ли показывают, что плазма после прохождения ударной волны слишком сильно разогревается (до температур  $10^8$ — $10^9$  К) и оказывается «легче» магнитного поля. Поэтому необходимо некоторое время, чтобы она остыла и уплотнилась. Остывание плазмы обусловлено тепловым излучением электронов, а также обратным комптоновским рассеянием электронов на фотонах. Время остывания не является жестко заданным, и плазма аperiodически поступает на поверхность нейтронной звезды, что не согласуется со строго периодическим приходом импульсов от рентгеновских пульсаров. Это может служить еще одним свидетельством против сферически-симметричного режима аккреции.

Сейчас надежно установлено, что у рентгеновского пульсара Геркулес X-1 имеется аккреционный диск. Наблюдения показывают — плазма практически постоянно проникает на магнитные полюса.

Каким образом? Неустойчивость Релея — Тейлора здесь не работает. Вспомним, что вещество в диске движется по круговым кеплеровским орбитам, т. е. практически находится в состоянии невесомости.

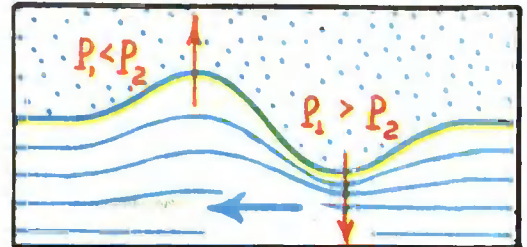
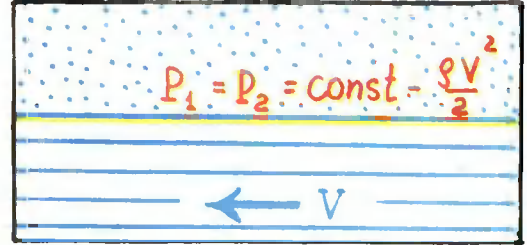
В прошлом веке физиков интересовали вопросы, на первый взгляд, не имеющие отношения к нашей проблеме: как возникают волны на море, что заставляет развеваться флаги, почему трепещут паруса. Оказалось, что причина всех этих явлений кроется в неустойчивости границы двух потоков жидкости или газа. Представим



Неустойчивость Релея — Тейлора на границе магнитосферы (показана зеленым цветом). Силовые линии магнитного поля направлены перпендикулярно плоскости рисунка и изображены кружками. Плазма в виде отдельных сгустков просачивается внутрь магнитосферы. Сгустки дробятся и вмораживаются в магнитное поле, а далее по силовым линиям стекают на магнитные полюса нейтронной звезды. Для развития такой неустойчивости необходимо, чтобы плазма остыла и стала «тяжелее» магнитной жидкости.

себе две жидкости, одна из которых покоится, а другая движется. Давления на разделяющей их границе равны, и, казалось бы, движение устойчиво. Давайте возмущим границу. Линии тока возмущенного движения, изображенные на рисунке, показывают, как изменилась скорость потока в каждой точке. Напомним, что скорость в каждой точке пропорциональна количеству линий тока, а давление жидкости, согласно закону Бернулли, уменьшается с увеличением скорости. Там, где текущая жидкость огибает «мыс», скорость ее возрастает, а давление падает. Так как верхняя

жидкость покоится, то давление в ней осталось прежним. В результате равновесие на границе нарушится, и «мыс» будет все сильнее и сильнее вдаваться в глубь движущейся жидкости. В «заливе», наоборот, скорость уменьшается и давление нарастает. Таким образом, граница двух потоков всегда неустойчива. Эта неустойчивость впервые была исследована У. Кельвином и Г. Гельмгольцем. В море движущаяся «жидкость» — ветер — находится сверху. Как только горб на поверхности моря станет достаточно большим, сила

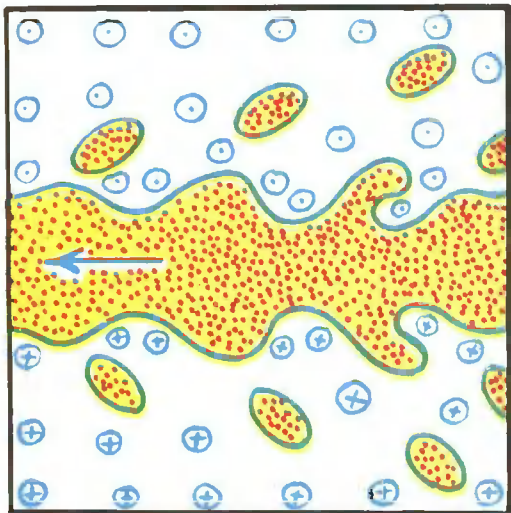


Неустойчивость двух потоков жидкости, движущихся относительно друг друга со скоростью  $V$  (в  $z$  в  $r-x$  у). Для простоты предполагается, что жидкость 1 (показана точками) покоится, а жидкость 2 движется. Пока граница, разделяющая две жидкости, плоская, давление в них одинаково:  $P_1 = P_2$ . Синие линии — линии тока, их плотность пропорциональна скорости  $V$ . Если немного возмутить границу раздела, то изменится конфигурация линий тока (внизу). По закону Бернулли, чем больше скорость жидкости, тем меньше давление в ней; равновесие давлений на границе нарушилось, и возмущение будет нарастать.

тяжести заставляет его расплываться и возникает волна.

В случае дисковой аккреции «ветром» является магнитное поле нейтронной звезды. Скорость магнитного «ветра» определяется разностью скоростей кеплеровского движения вещества и скорости движения магнитосферы. В результате неустойчивости Кельвина — Гельмгольца вся поверхность диска покрыта волнами различной амплитуды. Высота некоторых из них достигает десятков километров. «Брызги» плазмы, поднимаясь над поверхностью диска, вмораживаются в магнитное поле.

Однако в случае дисковой аккреции имеется более мощная неустойчивость, обеспечивающая постоянное втекание плазмы в магнитосферу. Как мы уже отметили, на внутренней границе диска напряженность магнитного поля резко возрастает. Это явление имеет свою аналогию в электростатике. Вспомним, что на острых краях заряженных проводников резко возрастает электростатический потенциал. Это, в частности, приводит к стеканию зарядов и появлению огней святого Эльма. Усиление магнитного поля у края диска

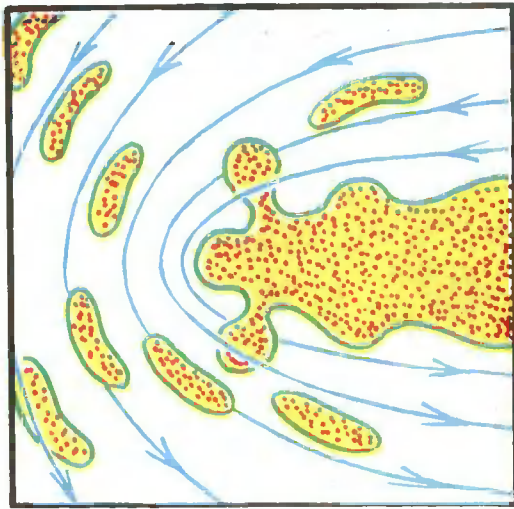


Неустойчивость Кельвина — Гельмгольца для границы магнитосферы в случае дисковой аккреции. Стрелкой показано направление движения плазмы, участвующей в кеплеровском вращении. Роль ветра выполняет магнитное поле нейтронной звезды. В верхней части рисунка силовые линии магнитного поля направлены и нам, в нижней — от нас.

в 10—30 раз по сравнению с дипольным полем в том же месте приводит к увеличению магнитной энергии в 100—1000 раз, поэтому силовые линии стремятся распрямиться. Это возможно только в случае, если плазма и поле поменяются местами. Так как плазма в диске постоянно обновляется, то такая перестановочная неустойчивость обеспечит постоянный приток плазмы в магнитосферу нейтронной звезды.

●  
Исследование магнитосферы рентгеновских пульсаров началось несколько лет

назад, и сделаны лишь первые шаги. Предстоит исследовать не только сферически-симметричный и дисковый, но и другие режимы аккреции (например, нерадиальный), а также построить самосогласованную магнитогидродинамическую картину течения плазмы внутри магнитосферы. Не исключено, что в магнитосферах рентгеновских пульсаров, особенно короткопериодических, важную роль играют процессы, характерные для радиопульсаров — одиночных нейтронных звезд. Наибольший интерес представляет исследование про-



Перестановочная неустойчивость у внутренней границы диска, возникшая из-за резкого возрастания в этой области напряженности магнитного поля. Сгустки плазмы стремятся проникнуть в область с низким давлением магнитного поля, затем дробятся и «вмораживаются» в магнитное поле.

цессов, приводящих к рождению релятивистских частиц, так как их синхротронное излучение может быть обнаружено современными астрономическими приемниками.

Все эти исследования, несомненно, позволят понять строение нейтронных звезд — наиболее плотных объектов во Вселенной. Определяя параметры нейтронных звезд по наблюдению рентгеновских пульсаров, специалисты смогут исследовать физические свойства вещества при плотностях и энергиях, совершенно недоступных в земных лабораториях.



## Успехи и перспективы генной инженерии

С. И. Алиханян



Сос Исаакович Алиханян, доктор биологических наук, заведующий отделом молекулярной генетики Всесоюзного научно-исследовательского института генетики и селекции промышленных микроорганизмов Главного управления микробиологической промышленности при Совете Министров СССР, профессор кафедры генетики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Работает в области генетики микроорганизмов. В настоящее время руководит исследованиями по созданию высокопродуктивных штаммов промышленных микроорганизмов средствами генной инженерии.

Со времени установления структуры ДНК Дж. Уотсоном и Ф. Криком прошло около 30 лет, и за это время генетика сделала очень большой скачок. Этому успеху мы обязаны главным образом молекулярной генетике микроорганизмов. И вот новый успех: родилось новое направление в биологии — генная инженерия<sup>1</sup>.

Установление факта, что ген в своей основе является фрагментом ДНК, т. е. участком ее с определенной последовательностью нуклеотидов, позволило производить самые разнообразные манипуляции с этими фрагментами, что составляет суть технологии генной инженерии.

Что такое генная инженерия? В данный момент разумным кажется такое определение: генная инженерия — это сумма методов, позволяющая переносить гены из одного организма в другой. Иными словами, генная инженерия — это технология направленного конструирования новых биологических объектов.

Перенос генов осуществляется не полными клетками, как при генетических скрещиваниях, и не ядром с имеющейся в нем генетической информацией, как при соматической гибридизации, а с помощью

искусственно сконструированных генетических элементов — векторных молекул. Под вектором принято понимать специально сконструированную плазмиду, бактериофаг или эукариотический вирус, в геном которых можно встроить чужеродную генетическую информацию. Воспроизведение и фенотипическое проявление этих гибридных молекул и переносимых ими чужеродных генов должны обеспечиваться генетическими системами вектора. При классической гибридизации происходит рекомбинация между гомологичными участками хромосом, а при генной инженерии — объединение ДНК любого происхождения. Генетическая инженерия обеспечивает не только обмен генами без учета таксономических границ, т. е. между далекими родами, семействами и даже классами и царствами, но и резкое увеличение так называемой дозы генов, усиление генов (амплификация), их проявление (экспрессия) в чужеродной клетке.

Основным переносчиком гена из одного генома в другой служит векторная молекула, сконструированная из ДНК плазмиды<sup>2</sup> или вируса. Обычно это кольцевые

<sup>1</sup> См.: Б а в а А. А. Генетическая инженерия. — «Природа», 1976, № 1.

<sup>2</sup> Плазмиды — внехромосомные молекулы ДНК, способные к автономной репликации и передающиеся в дочерние клетки при делении бактерии.

молекулы весом от 2,8 до 10 мегадальтон.

Генная инженерия включает следующие основные стадии: выделение генов из донорского организма; сшивание генов с векторной молекулой, обеспечивающей перенос и их автономное самовоспроизводство, т. е. репликацию; внесение полученной гибридной (рекомбинантной) ДНК в организм реципиента и обеспечение активности чужеродных генов.

Каждая из этих стадий, в свою очередь, состоит из большого числа этапов. На стадии выделения генов самый существенный этап заключается в идентификации генетической информации фрагментов ДНК. При сшивании генов главное — получить вектор, обеспечивающий высокий выход рекомбинантных ДНК. На стадии внесения рекомбинантных ДНК в чужеродную клетку наиболее существен высокий уровень трансформации<sup>3</sup>, в особенности для эвкариот. Стадия обеспечения активности чужеродных генов — самый кардинальный и самый сложный этап и включает в себя как манипуляции с регуляторными системами векторов, так и контроль генетических систем реципиента.

Большую роль в формировании системы вектор — хозяин выполняют ферменты рестриктазы — своеобразные защитники, охраняющие клетку от вторжения чужеродной ДНК. Рестриктазы разрезают плазмиды с образованием так называемых липких концов. Важно, чтобы в плазмиде для рестриктаз была бы только одна точка узнавания, с тем чтобы после разрезания плазида не распалась на несколько фрагментов и образовала одну линейную молекулу. Следовательно, рестриктазы позволяют включать в вектор молекулу ДНК, т. е. чужеродный ген. Такие гибридные молекулы, введенные в клетку, образуют совершенно новые сочетания генов, которые ранее никогда не встречались ни у одного из живых организмов. Если плазида в результате рестрикции сохраняет все свои локусы, необходимые для ее воспроизведения, любая дополнительная нуклеотидная последовательность, включенная в плазмидную ДНК независимо от своего происхождения, реплицируется вместе с плазмидными генами. После поглощения клеткой реципиента рекомбинантные молекулы, содержащие полный набор плазмидных генов, необходимых для автономной репликации, оживают

и начинают размножаться; вместе с ними размножаются и любые чужеродные гены, оказавшиеся в составе плазмиды.

Помимо рестриктазы в генной инженерии широко применяют фермент полинуклеотидлигазу, которая связывает гетерологичные фрагменты ДНК с плазмидой.

В настоящее время в развитии генной инженерии наиболее существенны два момента: разработка системы вектор — хозяин и разработка методов выделения генов.

В свою очередь, разработка систем вектор — хозяин идет по двум основным направлениям: во-первых, получение систем для новых биологических объектов и, во-вторых, для объектов, выполняющих специализированные функции.

В качестве векторов используют, в основном, плазмиды, выделенные из классического объекта молекулярной генетики кишечной палочки (*Escherichia coli*). Сейчас уже разработаны высокопродуктивные системы вектор — хозяин и для других микробиологических объектов, таких как *Pseudomonas*, *Actinomyces*.

Плазмиды удобно метить селективируемыми генами устойчивости к антибиотикам (например, к тетрациклину). Если клетка становится устойчивой к тетрациклину, это значит, что удалось перенести в клетку плазмиду. Затем среди устойчивых клеток или колоний отбирают ту клетку, которая приобрела чужеродный ген, связанный с плазмидой. Сейчас уже отработана техника трансформации плазмидной ДНК.

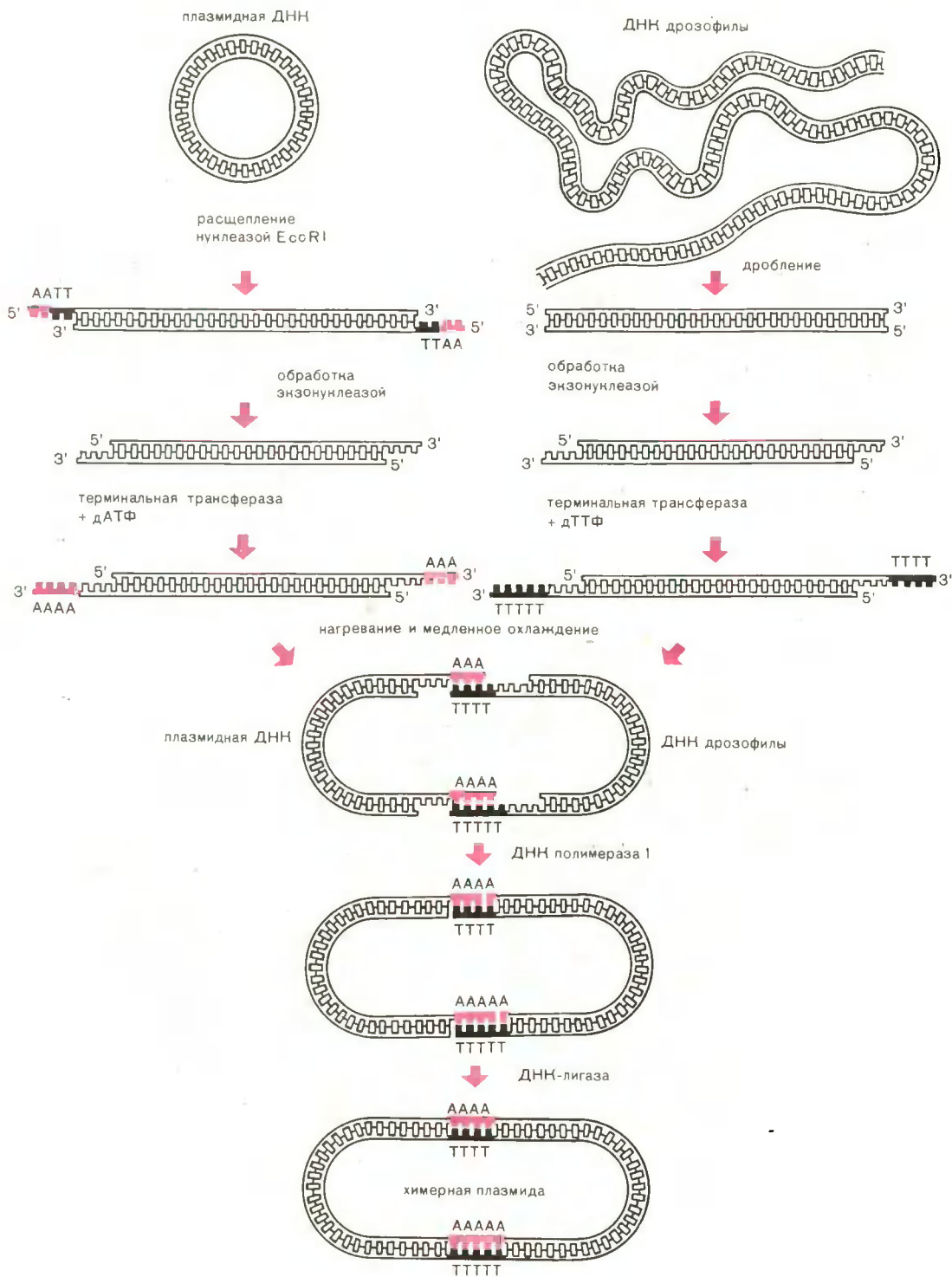
Разработаны первые векторы для фотобактерий, этих, возможно, перспективных для применения микроорганизмов, потребляющих свет в качестве единственного источника энергии.

Большие успехи, достигнутые с эвкариотными микроорганизмами, такими как *Saccharomyces cerevisiae*, обусловлены, прежде всего, развитием генетики дрожжей. На основании открытых так называемых двухмикронных плазмид были сконструированы дрожжевые векторы и открыта трансформация у дрожжей. С развитием генной инженерии дрожжевых клеток связывают большие научные и практические надежды. Тот факт, что дрожжи имеют классические эвкариотные генетические механизмы, заставляет оптимистически смотреть на возможность проявления в дрожжах генов животных и растений.

Успехи генной инженерии с растительными и животными объектами в данный момент, к сожалению, не так велики, как очевидные перспективы этого направления.

<sup>3</sup> Трансформация — перенос генетической информации с помощью свободных фрагментов ДНК.





**Конструирование гибридной молекулы ДНК.**

Кольцевую ДНК плазмиды расщепляют в единственной точке путем обработки экзонуклеазой EcoRI до получения линейных молекул. Молекулы ДНК хромосомом дрозофилы дробят до фрагментов, приблизительно тех же размеров, что и плазмидная ДНК. Линейные молекулы, обработанные экзонуклеазой, теряют нуклеотиды с 3' концов обеих нитей ДНК, в результате чего освобождаются ее 3' концы. Затем специальным ферментом (с терминальной трансферазой) наращивают дополнительные адениновые нуклеотиды к 3' концам плазмидной ДНК и тимининовые нуклеотиды к 3' концам фрагментов ДНК дрозофилы, используя при этом соответственно дезоксиаденозинтрифосфат (дАТФ) и дезокситимидинтрифосфат (дТТФ) в качестве субстратов. При смешивании двух видов молекул ДНК за счет комплементации 3'-терминальных А и Т пар оснований образуется кольцевая сочлененная молекула. Одноцепочечные брешки, оставшиеся в месте соединения молекулы, заполняются ДНК полимеразой I, после чего нити ДНК сшиваются с помощью ДНК-лигазы. В результате образуется гибридная ковалентно замкнутая кольцевая молекула, состоящая из плазмидной ДНК и ДНК дрозофилы [по Г. Стенту и Р. Календару, 1978].

Причины скромности этих успехов прежде всего лежат в сложности животных и растительных объектов. Если генетические карты бактериальных плазмид и бактериофагов, используемых как векторы, и системы регуляции прокариот детально изучены и разработаны, то только в последние годы появляются данные о геноме эукариотных вирусов, о механизмах его экспрессии. Отсутствие эффективных векторов для эукариот сильно тормозит работы по генноинженерному конструированию у животных и растений.

Одно из главных требований, предъявляемых к векторам, — наличие в них генов, фенотипическое проявление которых поможет отличить клетки с вектором от клеток без него. Если у прокариот эта задача решена, то у эукариот только в прошлом году стало возможным использовать для этого ген фермента тимидинкиназы вируса герпеса и ген фермента дигидрофолатредуктазы мыши. Получаемые до сих пор на основе вируса обезьян SV40 векторные молекулы могут переносить ограниченное количество генов (не более 2—3 тыс. пар нуклеотидов). Эти векторы, тем не менее, способны проявлять ген белка глобина мыши в клетках африканской зеленой мартышки.

Сегодня конструируют векторы для эукариот на основании более крупных вирусов, таких как аденовирусы и вирусы группы герпеса. Методические сложности этих работ весьма велики, а их успех не-

посредственно зависит от развития молекулярной генетики этих вирусов.



Второе, очень важное направление в разработке систем вектор—хозяин — это создание векторов со строго специализированными функциями. Работы эти проводятся в основном на векторах для кишечной палочки. Среди них можно выделить четыре класса специализированных векторов.

**Первый класс** — векторы амплификаторы, предназначенные для стабильного умножения и усиления чужеродных генов.

**Второй класс** — векторы для селекции встроенных чужеродных генов, так называемые векторы инсерционной инактивации, предназначенные для быстрого распознавания клеток, получивших вектор без встройки, и клеток, получивших вектор со встройкой. Действие таких векторов основано на том, что чужеродная ДНК (т. е. гены), встроенная в вектор, нарушает один из его генов, что затем изменяет фенотип клеток. К этому же классу векторов относятся еще и так называемые космиды. Космиды состоят из плазмид, несущих фрагмент ДНК одного из бактериофагов — фага  $\lambda$ , который позволяет космиде упаковаться в отдельно добавленные головки и хвостовые отростки фага  $\lambda$ . Это свойство космид дает возможность непосредственно отбирать гибридные плазмиды со встройкой.

Весьма эффективны как векторы для селекции и так называемые векторные фаги  $\lambda$  серии Харон, которые образуют, в общем, инфекционные частицы только после встраивания в них чужеродной ДНК.

**Третий класс** — векторы для экспрессии чужеродных генов, которые перед точкой интеграции чужеродных генов содержат мощные регуляторные зоны, контролирующие экспрессию встроенного гена. Регуляторная зона вектора для экспрессии выделяется либо из бактериального оперона, например из лактозного оперона, или из бактериофага  $\lambda$ .

Крайне существенно и то, что уровень высокой экспрессии чужеродных генов зависит не только от регуляторной системы вектора, но и от генотипа штамма хозяина. Желательно, чтобы среди клеточных ферментов было мало протеиназ, расщепляющих чужеродный белок, и отсутствовали вообще полинуклеотидфосфорилазы и РНК-азы I, действующие на чужеродную мРНК.

Полагают, что использование векторов для экспрессии и эффективности

штаммов-реципиентов, а также точная интеграция чужеродной ДНК относительно регуляторных сигналов вектора обеспечит повышенный синтез чужеродного белка; его количество может доходить до 40% от общего белка клетки хозяина. Например, в результате встраивания гена гормона роста человека в ДНК кишечной палочки, можно получить до 186 тыс. молекул на клетку.

**Четвертый класс** — векторы для выделения чужеродных регуляторных генов, отвечающих: за начало репликации, за начало и окончание транскрипции. Принцип действия таких векторов заключается в том, что в определенных селективных условиях вектор может существовать только в том случае, если в него встроены чужеродный ген репликации, промотор или терминатор.

В настоящее время необходимо не только создавать новые векторы, но и улучшать эксплуатацию уже имеющихся.

Что касается разработки систем вектор—хозяин для прикладных целей, то здесь прежде всего нужно обратить внимание на выбор оптимальных и перспективных биологических объектов, на разработку векторных систем для дрожжей, способных расти на дешевых и нетоксичных субстратах, на создание эвкариотных векторов для животных и растений. Кроме того, необходимо четко сформулировать требования, предъявляемые к прикладным системам вектор—хозяин.

Проблемы, связанные с выделением генов более сложны. Выделить ген — это значит примерно из двух миллионов фрагментов ДНК донорского организма (мышь или человека, например) изолировать один нужный. Для этого необходимо расшифровать генетическую информацию данного фрагмента ДНК.

Самым простым случаем является фенотипическая селекция, при которой чужеродный ген, встроены в вектор, изменяет фенотип реципиента, например, от неспособности к росту без аргинина к способности самостоятельно синтезировать эту аминокислоту. В этом случае вектор будет содержать ген биосинтеза аргинина. Но возможны случаи, когда чужеродный ген активен, но клетки не меняют фенотипа, как, например, ген инсулина. Тогда присутствие гена определяют радиоиммунологическим методом (путем реакции белков клетки с антителами к искомому гену).

В случае, если чужеродный ген не транслируется, т. е. не воспроизводится после переноса из организма в организм, его можно определить по гибридизации

ДНК клонов с меченой РНК искомого гена.

Один из наиболее прямых путей получения генов — их химический синтез по известной нуклеотидной или аминокислотной последовательностям. Именно этим методом были получены клоны генов энкефалина и брадикинина в Институте биорганической химии АН СССР в лабораториях Ю. А. Овчинникова и М. Н. Колосова<sup>4</sup> и ангиотензина в Институте цитологии и генетики СО АН СССР под руководством Д. К. Беляева.

Имея индивидуальную РНК, с помощью обратной транскриптазы можно получить ген, ее кодирующий<sup>5</sup>. В некоторых случаях ген удобно идентифицировать путем гибридизации с РНК или путем его трансляции в бесклеточной системе.

В целом, успех в выделении генов непосредственно зависит от наличия ткани, в которой данный ген высокоактивен и продуцирует большие количества РНК, и от возможности получения такой РНК и ее идентификации. Широко известные достижения в области клонирования и экспрессии генов гормонов обусловлены в большей, если не главной, степени результатами молекулярной эндокринологии.

Еще одна принципиальная проблема в методах выделения генов — конструирование так называемых библиотек генов. Суть таких библиотек состоит в следующем: ДНК донорского генома, например человека, вероятно дробят до участков размером в 3—5 обычных генов, затем эти фрагменты встраивают в вектор, и в результате получают коллекцию из двух миллионов бактериальных клонов, каждый из которых содержит вектор с некоторыми генами человека. Определение индивидуальных генов в библиотеке — принципиально сложная и трудоемкая задача. Поэтому очень важно найти принципы конструирования классифицированных библиотек генов и разработать методы их машинного анализа.

В настоящее время развитие генной инженерии обусловило решение ряда фундаментальных проблем биологии.

Так, при изучении организации эвкариотного гена было сделано сенсационное открытие: оказалось, что гены животных кардинально отличаются от генов микро-

<sup>4</sup> Овчинников Ю. А. Основные тенденции в развитии физико-химической биологии. — «Природа», 1980, № 2.

<sup>5</sup> Киселев Л. Л. Проект «Резертаза» выполнен. — «Природа», 1980, № 9.

организмов. Если в прокариотном гене последовательность нуклеотидов соответствует последовательности аминокислот в кодируемом белке, то внутри структурных генов эукариот обязательно есть последовательности, которые не несут, на современный взгляд, осмысленной генетической информации, и после транскрипции удаляются из мРНК. Речь идет о так называемом экзон-интронном строении эукариотного гена<sup>6</sup>. Кроме того, оказалось, что в геноме животных присутствует новый класс генов — так называемые мобильные гены, которые могут менять свою локализацию на хромосоме<sup>7</sup>.

Впервые с помощью генной инженерии выделены и изучены гены, которые активны на определенных стадиях дифференцировки. Большие успехи достигнуты в расшифровке структурных генов, кодирующих легкие и тяжелые цепи иммуноглобулинов<sup>8</sup>, изучены геномные перестройки, приводящие к биосинтезу антител.

Генную инженерию весьма интенсивно применяют и в экспериментальной онкологии. Выделены и перенесены в бактериальные клетки гены, ответственные за вирусную индукцию опухолей, гены вирусов саркомы, гены Т-антигенов аденовирусов, вирусов группы герпеса. Выделены гены, ответственные за возникновение опухолей под действием химических канцерогенов. Оказалось, что по своей структуре эти гены похожи на гены саркомных вирусов.

Большую роль призвана сыграть генная инженерия в промышленной микробиологии, в генноинженерном конструировании промышленных микроорганизмов, продуцирующих такие важные соединения, как ферменты, аминокислоты, антибиотики, витамины, кормовые и пищевые белки, биологические средства защиты растений, пептидные гормоны животных и человека и т. д.

Во Всесоюзном научно-исследовательском институте генетики и селекции промышленных микроорганизмов были выделены клоны мутантных генов, кодирующих синтез аминокислоты треонина и получен соответствующий реципиентный штамм. В результате этой работы удалось

получить штамм *E. coli*, продуцирующий до 30 г/л l-треонина. Этот штамм по ряду параметров превосходит все используемые в мировой практике в настоящее время продуценты l-треонина.

Ведутся работы по введению в пекарские дрожжи генов, кодирующих пищевые белки, такие как овальбумин (основной белок куриного яйца), миозин (белок мышц). Можно надеяться, что вскоре будут созданы эффективные продуценты пищевого белка. При этом, работы ведутся с дрожжевыми штаммами, использующими дешевые и нетоксичные субстраты — этанол и метанол.

Недавно осуществлен химический синтез инсулина человека для генов А и В (кодирующих А и В цепочки), состоящих из 104 и 77 пар оснований соответственно. Затем эти гены были клонированы в составе плазмиды в *E. coli* и была показана их экспрессия. Более того, продемонстрирована самосборка нативного инсулина из А и В цепей. Несмотря на то что полученный штамм, по всей видимости, нельзя использовать для промышленного производства инсулина из-за низкого выхода при самосборке, достигнутые успехи позволяют надеяться, что такой штамм будет получен в ближайшем будущем.

С помощью генной инженерии решаются и энергетические проблемы, такие как создание штаммов микроорганизмов, повышающих эффективность эксплуатации нефтяных месторождений. Зачастую нефть трудно полностью извлечь из скважины из-за наличия тяжелых фракций углеводородов, битумов. В этом случае могут быть полезны микробы, расщепляющие длинные углеводородные цепи. Кроме того, ведутся работы с бактериями, которые синтезируют метан в нефтяных месторождениях и будут способствовать выталкиванию нефти на поверхность. На страницах научной прессы серьезно рассматривается возможность получения топлива из биомассы специально сконструированных фотосинтезирующих организмов.

В медицинской генной инженерии можно сегодня выделить три основных направления: микробиологическое производство вакцин и сывороток; диагностика генетических аномалий человека на ранних стадиях внутриутробного развития; генная хирургия. Размножая бактериальные клетки в промышленных масштабах, можно получить различные вакцины в больших количествах.

Для получения вакцин и сывороток в бактериальную клетку переносят гены,

<sup>6</sup> Мозаичное строение генов. — «Природа», 1980, № 8, с. 109.

<sup>7</sup> Гершензон С. М. «Прыгающие гены». — «Природа», 1979, № 1.

<sup>8</sup> Новые данные о строении генов иммуноглобулинов. — «Природа», 1980, № 7, с. 104.

кодирующие белки оболочки патогенных вирусов. Синтезируемые в бактериальной клетке вирусные белки можно использовать для вакцинации против соответствующих вирусных заболеваний. В частности, уже создана вакцина против инфекционного гепатита В. Интенсивно ведутся работы по клонированию генов вируса гриппа.

У человека зарегистрировано несколько сот наследственных заболеваний, еще больше наследственных предрасположений к болезни. Диагностику генетических заболеваний плода человека, находящегося на ранних стадиях внутриутробного развития, проводят следующим образом. Из околоплодной жидкости отбирают пробу, содержащую отдельные клетки эмбриона. ДНК эмбриона расщепляют на ряд фрагментов, их фракционируют, а затем сравнивают с клонируемым образцом того гена, дефект которого следует обнаружить. Этим методом уже обнаруживают такие тяжкие генетические заболевания крови, как гемофилия, талассемия.

Генная хирургия, т. е. замена поврежденного гена на полноценный, весьма трудная задача. Для ее решения потребуются выяснение многих фундаментальных закономерностей. Однако сейчас уже есть основания для оптимизма. Так, удалось перенести ген белка глобина мыши в клетки обезьяны, в результате чего в клетках африканской зеленой мартышки стал синтезироваться белок крови мыши. Не исключено, что с помощью генной хирургии удастся исправлять не только наследственные дефекты, но и дефекты, связанные с отсутствием определенного белка (например, инсулина в случае диабета) и т. д.

Особняком стоит вопрос об использовании растительных организмов в генно-инженерных экспериментах. Наиболее интересны работы по повышению урожайности растений путем передачи генов (*nif*) из азотфиксирующих бактерий почвенной микрофлоры, не способной фиксировать не только атмосферный азот, но и азот, находящийся в симбиозе с корнями растений. Делались попытки также по внесению *nif* генов непосредственно в растительные клетки. Однако, как показали первые эксперименты и теоретические соображения, внесение бактериальных *nif* генов в растительные клетки сегодня еще невозможно. Как известно, процесс фиксации азота требует больших количеств энергии, в силу чего азотфиксирующие клетки должны производить большое количество аденозинтрифосфорной кислоты. Наконец, известно, что ферменты нитроге-

назного комплекса чувствительны к кислороду и не работают в его присутствии.

Основная проблема для развития работ по генной инженерии с растениями и животными — это разработка системы вектор—хозяин. Сравнительно недавно появилось сообщение о конструировании «растительных» рекомбинантов ДНК. В качестве вектора была использована так называемая Ti-плазмида из *Agrobacterium tumefaciens*. В эту плазмиду с помощью определенного фага — фага Мю-1 был встроен бактериальный ген устойчивости к антибиотику ампициллину. Затем такая рекомбинантная плазмида была внесена в культуру клеток табака (как известно, Ti-плазмида может развиваться в растительных клетках). В результате проведенных опытов Ti-плазмида с геном ампициллинустойчивости стабильно встроилась в геном табака, но продукты встроеного гена не были получены. Таким образом, был осуществлен первый перенос чужеродного гена в геном растений. Эта работа открывает путь к целенаправленному конструированию новых растений.

Практическое приложение и перспективы создания новых растений с помощью генной инженерии кажутся нам реальными, поскольку уже имеются большие достижения по регенерации целого растения из изолированной клетки, выделены и размножены гаплоидные клетки растений, успешно решена задача удаления прочной наружной стенки растительных клеток с образованием протопластов.

Несколько отдельно стоит генная инженерия организмов, деятельность которых используется в охране окружающей среды. Конструируются штаммы *Pseudomonas*, разрушающие углеводороды нефти. За рубежом уже получен многоплазмидный вариант *Pseudomonas*, утилизирующий все компоненты нефти. Аналогичная работа выполнена в нашем институте, в результате чего была резко повышена вирулентность *Bac. turingiensis*, синтезирующей токсин, патогенный для насекомых.



Сегодня стало очевидным, что научный потенциал генной инженерии, потенциал рождающейся на наших глазах качественно новой генноинженерной биологии, позволяет решать не только фундаментальные проблемы биологии, но и экологические, и даже энергетические задачи.

## Спектроскопия ядерного магнитного резонанса

А. Леше



Артур Леше, академик Академии наук ГДР, профессор Физического института Лейпцигского университета им. Карла Маркса. Основные работы в области высокочастотной спектроскопии, фазовых переходов, жидких кристаллов. Автор монографии: Ядерная индукция (русский перевод — М., 1963).

Основы современной спектроскопии были заложены немецкими учеными химиком Р. Бунзеном и физиком Г. Кирхгофом 120 лет назад: они, показали, что по линейчатым спектрам светящихся газов и паров можно делать выводы об их химическом составе. При этом используется тот факт (конечно, в 1857 г. еще неизвестный), что электроны в атоме или молекуле могут находиться лишь в определенных дискретных энергетических состояниях. Если, например, два из этих состояний, обозначенные индексами  $j$  и  $k$ , обладают различной энергией  $E_j$  и  $E_k$ , то при переходе из одного состояния в другое излучается (или поглощается) электромагнитная волна, частота которой определяется известным соотношением:

$$\omega_{jk} = (E_j - E_k) / \hbar,$$

где  $\hbar$  — постоянная Планка, деленная на  $2\pi$ .

С тех пор в спектроскопии используются самые различные квантовые переходы, причем излучение регистрируется в очень широком диапазоне частот. В 1938—1939 гг. были обнаружены первые резонансные линии в излучении молекул газа в высокочастотном диапазоне, в 1944—1945 гг. их удалось обнаружить и в веществах, находящихся в конденсированном состоя-

нии — в жидкостях и кристаллах. С этого времени принято говорить о высокочастотной спектроскопии, подразумевая под этим любые исследования в диапазоне частот  $10^4$ — $3 \cdot 10^{11}$  Гц, что соответствует длинам волн от нескольких километров до 1 мм. При этом на практике наблюдают резонансное поглощение, так как по причинам, открытым А. Эйнштейном еще в 1916 г., в этом диапазоне при нормальных условиях излучение невозможно. Резонансные линии, в принципе, столь узки, что на положение, ширину и форму линии существенное влияние оказывает взаимодействие исследуемых частиц с окружением. Поэтому спектроскопические методы в высокочастотном диапазоне особенно удобны для структурного анализа в самом широком смысле. К важнейшим из этих методов относятся электронный парамагнитный резонанс (ЭПР) и ядерный магнитный резонанс (ЯМР). Первый был открыт в 1944 г. Е. К. Завойским в Казанском университете им. В. И. Ульянова-Ленина<sup>1</sup>; второй — в 1945 г. независимо двумя группами в США, возглавляемыми Ф. Блохом и Э. Х. Перселлом.

Из оптических спектров уже было известно, что атомные ядра (и электро-

<sup>1</sup> Завойский Е. К. Электронный парамагнитный резонанс. — «Природа», 1978, № 2.

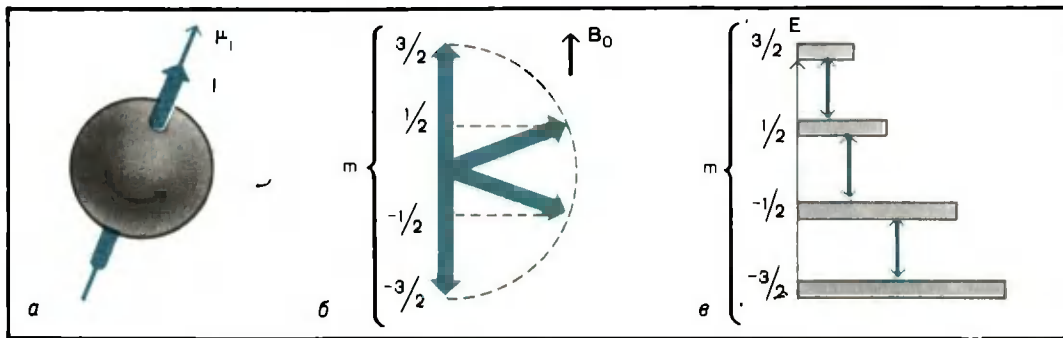


ны) представляют собой не просто очень маленькие заряженные шарики (диаметром  $10^{-13}$ — $10^{-12}$  см), — они еще быстро вращаются вокруг собственной оси и, следовательно, имеют собственный момент вращения, так называемый спин ( $I$ ), и магнитный дипольный момент ( $\mu_1$ ). В соответствии с законами квантовой теории, магнитный диполь располагается не параллельно внешнему магнитному полю  $\vec{B}_0$  (подобно стрелке компаса в поле Земли), а таким образом, что квантовые числа проекции спина на направление магнитного по-

квантовое число  $S=1/2$ , а магнитный момент примерно в 2000 раз больше, чем для ядер; в результате в одном и том же магнитном поле для электрона характерны значительно более высокие частоты.

### ЯДЕРНЫЙ МАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС

В отсутствие внешнего воздействия система ядерных спинов распределяется по энергетическим уровням в соответствии с болцмановским законом:



Ядерные моменты в магнитном поле: а — ядерный момент  $\mu_1$  и ядерный спин  $I$ ; б — различные возможности ориентации ядерного спина в магнитном поле  $B_0$  ( $m$  — магнитное квантовое число); в — разрешенные переходы между различными энергетическими уровнями; населенность этих уровней пропорциональна длине обозначающих их горизонтальных отрезков.

ля могут принимать лишь дискретные значения  $m=1, 1-1, 1-2, \dots, -1+1, -1$ , где  $I$  — величина спина ядра, выраженная в единицах  $\hbar$  (число  $m$  называют магнитным квантовым числом). Таким положениям соответствуют определенные значения энергии ядерных диполей  $E_m$ , а переходу между двумя положениями — частота  $\omega_m$ , которая зависит от напряженности магнитного поля  $B_0$ :

$$\omega_m = (E_m - E_{m-1}) / \hbar = \gamma B_0.$$

Коэффициент пропорциональности  $\gamma$  называется гиромагнитным отношением. Его величина различна для каждого изотопа, поэтому по характерной резонансной частоте можно отличать любые изотопы, имеющие ядерный спин  $I > 0$ .

Для электрона справедливы те же соотношения; для него, однако, спиновое

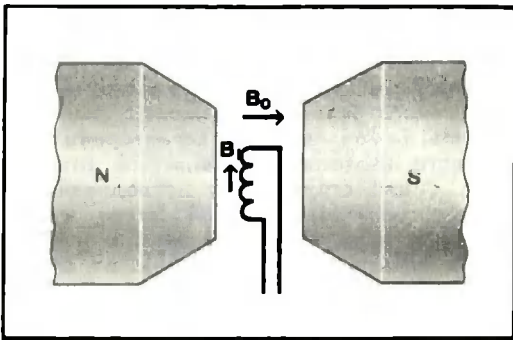
$$n_m = A \exp(-E_m / kT)$$

( $A$  — нормировочный коэффициент,  $T$  — температура,  $k$  — постоянная Больцмана). Величина  $n_m$  определяет концентрацию частиц, имеющих энергию  $E_m$ , и называется населенностью данного энергетического уровня. Обычно  $E \ll kT$ , и поэтому различие в населенностях остается малым, но оно увеличивается с понижением температуры. При нормальных условиях число ядерных диполей, направленных параллельно магнитному полю, всегда несколько больше, чем направленных антипараллельно. Вследствие этого образец приобретает макроскопическую намагниченность  $M_1$ , величина которой пропорциональна напряженности магнитного поля. Эту намагниченность и используют для обнаружения резонанса. Для этого достаточно  $0,5 \text{ см}^3$  (или даже меньше) образца, который в стеклянной ампуле помещают во внешнее магнитное поле. Чтобы получить возможно больший эффект, используют магнитные поля большой напряженности.

Магниты с железным ярмом позволяют легко получить поля напряженностью  $15$ — $25 \text{ кГс}$ ; этому соответствуют частоты  $60$ — $100 \text{ МГц}$  для протонов. В последние годы все чаще используют электромагниты со сверхпроводящими катушками, которые

создают поля до 65 кГс; этому соответствуют частоты порядка 270 МГц. Сверхпроводящие магниты обеспечивают большую стабильность поля, они просты в обращении, а их термоизоляция в настоящее время такова, что жидкий гелий приходится доливать лишь раз в месяц.

На постоянное магнитное поле  $\vec{B}_0$  накладывается слабое высокочастотное магнитное поле  $\vec{B}_1$ , вектор напряженности которого перпендикулярен направлению  $\vec{B}_0$ . С этой целью между полюсами постоянного магнита помещают катушку, в кото-



Расположение высокочастотной катушки в постоянном магнитном поле.

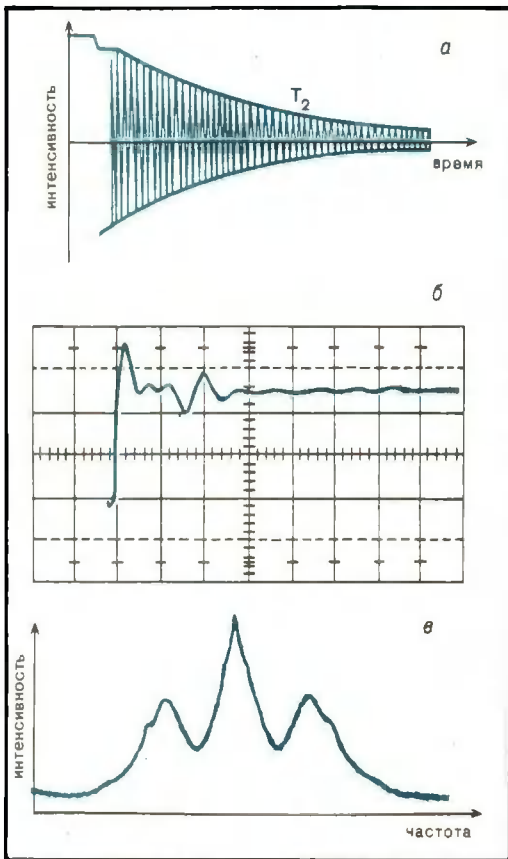
рой и находится ампула с исследуемым образцом. Кроме того, что катушка создает действующее на образец высокочастотное поле, она входит составным элементом в резонансный контур, подключенный к соответствующей измерительной аппаратуре.

Для обнаружения эффекта ЯМР возможны два принципиально различных способа. Обычно непрерывно меняют частоту переменного поля. Когда она достигнет значения, соответствующего частоте перехода, спиновая система начнет поглощать энергию, — таким образом и обнаруживается эффект ЯМР. Однако, чтобы произошло поглощение энергии, необходимо существование механизма, по которому энергия, поглощенная спиновой системой, вновь распределялась бы по другим степеням свободы. Иначе поглощение энергии быстро прекратилось бы при переходе всех ядерных спинов в высшее энергетическое состояние. Процесс выравнивания, при котором восстанавливается нарушенное равновесие, называют спин-реше-

точной релаксацией. Этот процесс характеризуется временем спин-решеточной релаксации  $T_1$ .

Высокочастотное облучение вызывает и высокочастотную намагниченность, перпендикулярную полю  $\vec{B}_0$ ; эта намагниченность также стремится вернуться к своему равновесному нулевому значению; соответствующее характерное время  $T_2$  называется временем поперечной релаксации.

Для получения резонансного сигнала можно вместо частоты изменять величину сильного магнитного поля  $\vec{B}_0$ . Это



Сигналы, регистрируемые в ЯМР-спектроскопии. а — высокочастотный сигнал свободной индукции после воздействия на образец  $90^\circ$  — импульса; затухание сигнала определяется временем поперечной релаксации  $T_2$ ; б — сигнал свободной индукции протонов в кристалле [осциллограмма]; здесь в результате выпрямления высокочастотных колебаний видна только огибающая сигнала; в — тот же сигнал, преобразованный в шкалу частот.

во многих отношениях проще, так как тогда все измерительные высокочастотные контуры можно настроить на максимальную чувствительность.

Второй метод исследует не зависимость намагниченности от частоты, а ее изменение во времени после возмущения. С помощью короткого высокочастотного импульса можно повернуть вектор ядерной намагниченности на заданный угол относительно направления постоянного поля  $\vec{V}_0$ . Высокочастотное поле  $\vec{V}_1$ , действующее в течение промежутка времени  $\tau$ , поворачивает вектор  $\vec{M}_1$  на угол  $\alpha = \gamma V_1 \tau$ . Если этот угол должен составлять, например,  $90^\circ$ , то при  $V_1 = 10$  Гс в случае протонов достаточно времени  $\tau = 5,9$  с; это в большинстве случаев меньше, чем  $T_1$  и  $T_2$ . Если теперь эту повернутую на  $90^\circ$  намагниченность предоставить самой себе, то она возбуждает в катушке сигнал свободной индукции и при этом медленно возвращается в равновесное положение, при котором направление намагниченности параллельно  $\vec{V}_0$ . Этот сигнал, являющийся функцией времени, содержит ту же информацию, что и частотный спектр; он представляет собой Фурье-преобразование этого спектра, и форма сигнала связана с формой спектра с помощью хорошо известных математических выражений. С технической точки зрения запись сигнала свободной индукции не представляет больших трудностей.

Регистрация таких сигналов практикуется уже давно, однако их анализ был возможен лишь в отдельных, довольно простых случаях. Широкое использование этого метода стало возможным только после появления новейших компьютеров; большинство обсуждаемых ниже спектров получено именно этим методом. Преимущества техники Фурье-преобразования очевидны. Время регистрации суммарного сигнала определяется временем  $T_2$  и составляет 1—2 с, а в твердых телах — несколько миллисекунд. Это дает возможность повторять процесс измерения и накапливать сигналы: случайные шумы при этом усредняются, а полезные сигналы складываются. Теоретически отношение сигнал/шум возрастает пропорционально корню квадратному из числа накоплений. Таким образом удается повысить чувствительность спектрометров настолько, что становится, например, возможным наблюдение резонанса ядер  $^{13}\text{C}$  без обогащения исследуемого образца, хотя этот изотоп содержится в природном углероде лишь в количестве 1,1%.

При варьировании частоты это невозможно, так как для повышения чувствительности необходимо очень медленно менять частоту при прохождении через область резонанса; в связи с этим режим накопления сигналов оказывается практически недостижим.

## ДЛЯ ЧЕГО ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ЯДЕРНЫЙ МАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС

Серийные ЯМР-спектрометры производятся уже 30 лет. Сегодня их цена колеблется от 100 000 до 1 000 000 марок<sup>2</sup>. Такие приборы чаще всего можно увидеть в промышленных химических лабораториях, но их используют и в физике твердого тела, и в биохимии, и в сельском хозяйстве, и во многих других областях. Они применяются, однако, не для изотопного анализа, как можно было бы думать, имея в виду характерное для каждого изотопа гиромагнитное отношение, а для структурных исследований в самом широком смысле этого слова. Атомные ядра не изолированы, они окружены электронами и удалены от соседних атомов на расстояние лишь порядка  $10^{-10}$  м. Если принять это во внимание, то приходится удивляться, как взаимодействия с электронами и ядрами соседних атомов вообще не «смазывают», не «затушевывают» резонанс. Подобные взаимодействия приводят к сдвигу резонансных сигналов и их расщеплению. Эти эффекты можно измерить количественно и на их основании делать выводы о структуре исследуемого образца. Рассмотрим кратко важнейшие эффекты.

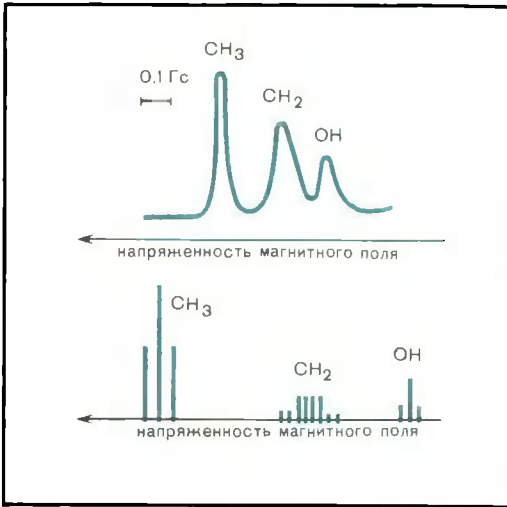
**Химический сдвиг.** Все атомные ядра окружены электронами. Между отдельным электроном и ядром существует не только электростатическое, но и магнитное взаимодействие (электронный спин!). Так как, однако, обычные молекулы имеют заполненные электронные оболочки, все электроны располагаются так, что их магнитные моменты взаимно компенсируются. Поэтому в первом приближении они не влияют на ядерный момент. Электронную оболочку можно рассматривать как диамагнитный экран, который ослабляет внешнее магнитное поле. На ядро, таким образом, действует поле

$$B = (1 - \sigma) \cdot B_0.$$

Константа экранирования  $\sigma$  зависит от числа электронов: в случае водорода (1 электрон)

<sup>2</sup> Соответствует 40—400 тыс. руб.

она составляет  $10^{-6}$ , в случае висмута (83 электрона) —  $10^{-4}$ . Эта величина зависит также от структуры электронной оболочки, которая определяется типом химической связи и, следовательно, «парнером» по связи. Практически абсолютное значение  $\sigma$  измерить трудно, поэтому сравнивают резонансные частоты одного и того же изотопа в различных соединениях или определяют сдвиг относительно соединения-эталона ( $\omega_{\text{э}}$ ) и называют по-



Сигнал протонов этилового спирта при низком (вверху) и при высоком разрешении.

лучаемую величину химическим сдвигом  $\delta$ :

$$\delta = \frac{\omega_{\text{э}} - \omega}{\omega_{\text{э}}} \cdot 10^6.$$

Измерение химического сдвига позволяет судить о структуре исследуемых молекул. Например, протонный спектр этилового спирта (при невысоком разрешении) имеет вид трех пиков, отстоящих один от другого на строго определенных расстояниях. Это говорит о том, что протоны (т. е. ядра водорода) в молекуле спирта ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) образуют различные группы, а именно  $\text{CH}_3$ ,  $\text{CH}_2$  и  $\text{OH}$ . Наблюдающийся в спектре сдвиг частот протонного резонанса обусловлен тем, что в каждой из этих групп ядра водорода окружены электронными оболочками, разли-

чающимися одна от другой как числом электронов, так и конфигурацией. Относительные количества протонов, находящихся в различных химических окружениях, можно определить по амплитудам (точнее — интегральным интенсивностям) соответствующих сигналов.

При повышении разрешения наблюдается дополнительное расщепление линий. Оно обусловлено тем, что различные группы протонов взаимодействуют между собой через посредство электронных оболочек. Это так называемое косвенное спин-спиновое взаимодействие, которое не зависит от ориентации молекулы в магнитном поле. Мультиплетность, т. е. количество линий, на которые расщепляется сигнал данной группы, определяется суммарным спином той группы, с которой она взаимодействует. Например, направления спинов всех трех протонов группы  $\text{CH}_3$  могут быть параллельны и действовать как одна частица со спином  $I_{\text{CH}_3} = 1/2 + 1/2 + 1/2 = 3/2$ ; при этом соседняя линия расщепляется на  $2I_{\text{CH}_3} + 1 = 4$  компоненты. Но в этой же группе два протона могут иметь антипараллельные спины, тогда суммарный спин группы  $I_{\text{CH}_3} = 1/2$ , и это обуславливает дополнительное дублетное расщепление линий. Резонансный сигнал соседней группы состоит, таким образом, из 8 компонент. С другой стороны протоны группы  $\text{CH}_2$  имеют максимальный суммарный спин  $I_{\text{CH}_2} = 1$  и расщепляют две другие линии в триплеты. Взаимодействие между протоном группы  $\text{OH}$  и группой  $\text{CH}_2$  вследствие большого расстояния между ними столь мало, что его наблюдать уже не удастся. Таким образом, изучая расщепление линий в спектре, можно делать выводы о взаимном расположении групп.

Такие простые спектры наблюдаются лишь в тех случаях, когда химические сдвиги велики по сравнению с расщеплением отдельных линий, т. е. когда компоненты, на которые расщепляются отдельные линии в спектре, не перекрываются. Так как величина химического сдвига пропорциональна напряженности магнитного поля, то понятно стремление работать в возможно более сильных полях — это существенно упрощает спектры. Если этого не предусмотреть, приходится учитывать возникающие в спектре искажения.

Информация о строении вещества, получаемая из анализа величины химических сдвигов и констант спин-спинового взаимодействия, оказывается значительно богаче той, которую можно получить другими методами. Измерение именно этих

параметров составляет значительную часть в различных химических и даже биохимических исследованиях.

#### Диполь-дипольное взаимодействие.

В конденсированных средах расстояния между атомными ядрами составляют примерно  $10^{-8}$  см. Магнитное поле диполя убывает обратно пропорционально кубу расстояния от него. Таким образом, поле, создаваемое ядром в области соседнего ядра (локальное поле), составляет примерно 5 Гс. Это должно было бы привести к смещению или уширению линий, т. е. к эффектам, превосходящим по величине эффекты экранирования, обусловленные электронными оболочками. Так что удивительно, что в конденсированных средах вообще удается наблюдать химические сдвиги.

Здесь, однако, следует учитывать два фактора. Во-первых, магнитное поле, создаваемое диполем, не только уменьшается с расстоянием, но и зависит от направления. Согласно классической формуле,

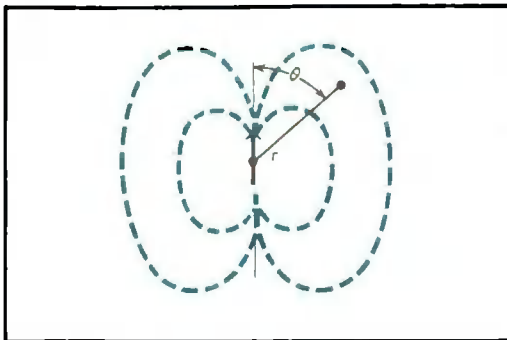
$$B_D = \pm \frac{3}{2} \frac{\mu_1}{r^3} (3 \cos^2 \theta - 1),$$

где  $r$  — расстояние между диполем и точкой наблюдения, а  $\theta$  — угол между осью диполя и направлением наблюдения. Во-вторых, в жидкостях молекулы движутся очень быстро; они меняют свое положение и ориентацию каждые  $10^{-11}$  с. Поэтому резонансная частота зависит лишь от среднего значения локального поля. Но оно в маловязкой жидкости оказывается равным нулю, т. е. в жидкой фазе вследствие быстрого движения спинов диполь-дипольное взаимодействие не влияет сколько-нибудь заметно на ширину линий. Например, при рабочих частотах 80—100 МГц ширина наблюдаемых линий протонного резонанса составляет 0,1 Гц, следовательно, резонансные частоты (или разность энергий) можно измерять с относительной точностью  $10^{-9}$ . Это аналогично измерению расстояния между Берлином и Москвой с точностью  $\pm 2$  мм. В единицах энергии точность таких измерений соответствует величине  $6,6 \cdot 10^{-35}$  Дж, или  $4,1 \cdot 10^{-16}$  эВ. Отсюда очевидны исключительная чувствительность этого метода и возможности его использования в области молекулярной физики.

Чтобы использовать преимущества высокого разрешения, в процессе измерения необходимо поддерживать стабильность магнитного поля и частоты, а также однородность магнитного поля в

объеме образца с точностью такого же порядка ( $10^{-9}$ ). Здесь нет возможности входить в технические тонкости; укажем только, что эти условия в последние годы удалось выполнить, используя для этого сам эффект ядерного магнитного резонанса.

В кристаллах и вязких жидкостях среднее значение локального поля ядер, естественно, отличается от нуля. Поэтому в спектрах наблюдаются широкие, плохо разрешенные линии. Но все же их форма зависит от структуры молекул образца.



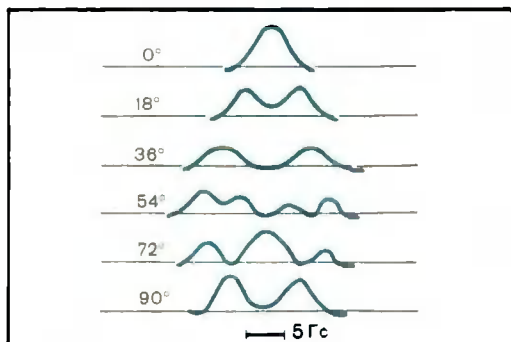
Магнитное поле диполя. Его напряженность зависит не только от расстояния до точки наблюдения  $r$ , но и от направления наблюдения, задаваемого углом  $\theta$ .

Эти линии сравнивают с вычисленными и по степени их совпадения делают выводы о точности той или иной предложенной модели. Возможности такого подхода продемонстрировал Дж. Пейк, который уже много лет назад исследовал спектр монокристалла гипса ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) при различной ориентации его в магнитном поле. Этот спектр представляет собой два дублета; расщепление линий различно при различной ориентации кристалла. Отсюда следует, что каждый дублет отвечает одной из двух молекул  $\text{H}_2\text{O}$ , по-разному ориентированных в кристаллической решетке. Приняв такую модель и учитывая тот очевидный факт, что расстояние между протонами в одной молекуле  $\text{H}_2\text{O}$  мало по сравнению с расстоянием между молекулами, можно рассчитать величину диполь-дипольного взаимодействия. Для этого в приведенное выше выражение, определяющее поле диполя, следует подставлять только значение поля, создаваемого вторым протоном той же молекулы  $\text{H}_2\text{O}$ . Рассчитанные с помощью такой модели



спектры хорошо соответствуют наблюдаемому в эксперименте. Конечно, это — наиболее простой случай, когда можно сразу же определить положение протонов в кристалле. В общем случае, когда надо учитывать взаимодействие со многими ядерными моментами, проблема значительно усложняется. Однако с помощью современных ЭВМ сегодня удается получать нужную информацию и из относительно сложных спектров.

В некоторых твердых телах молекулы

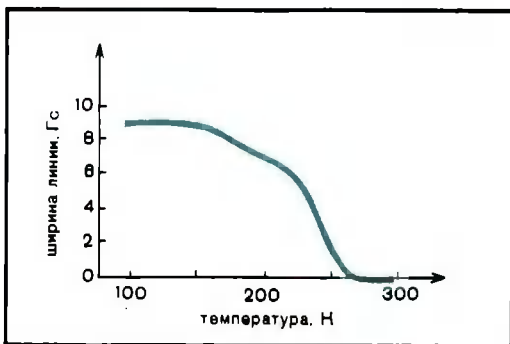


Протонный спектр монокристалла гипса  $[\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$  при различной ориентации монокристалла в магнитном поле.

могут быть сравнительно подвижными. Например, спектр каучука содержит узкие линии. Это указывает на то, что группы  $\text{CH}_2$  здесь столь подвижны, что происходит процесс усреднения величины локального магнитного поля, как в жидкостях. Лишь при низких температурах движение прекращается, и это приводит к соответствующему уширению линий.

Другой яркий, на наш взгляд, пример связан с полиизопреном, молекулы которого содержат группы  $\text{CH}_3$ ,  $\text{CH}_2$  и  $\text{CH}$ . С помощью ЯМР-спектроскопии было показано, что при понижении температуры вначале теряют подвижность звенья  $\text{CH}_2$ , и это приводит к уширению соответствующих линий до 6 Гс при 230 К; затем прекращается вращение группы  $\text{CH}_3$ , так что при 150 К ширина линий становится такой же, как в кристаллах. Вряд ли существует какой-либо другой метод, который позволял бы эффективно изучать такие процессы частичной потери подвижности.

Этим, однако, не исчерпываются возможности метода ЯМР. Упомянутая подвижность отдельных участков молекулы в сильной степени влияет на времена релаксации; таким образом, измерение времен релаксации — это еще один инструмент исследования динамических процессов, позволяющий к тому же отличать трансляционные движения от реориентации и открывающий доступ к непосредственному измерению коэффициентов диффузии.



Зависимость ширины линий протонного резонанса в каучуке от температуры.

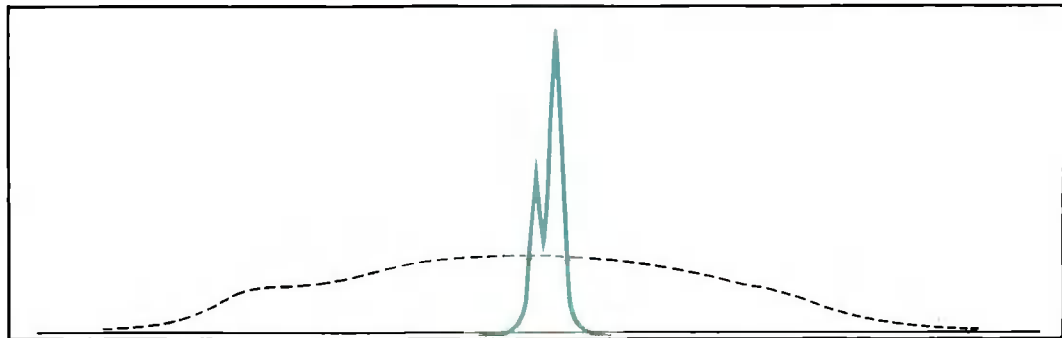
## УСПЕХИ СПЕКТРОСКОПИИ ЯДЕРНОГО МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА

В соответствии с рассмотренными выше соображениями, химические сдвиги можно наблюдать лишь в жидкой фазе; кристаллические образцы имеют слишком уширенные линии, что приводит, естественно, к потере информации. Вместе с тем очевидно, что химические сдвиги анизотропны, т. е. зависят от положения молекулы в магнитном поле. Однако в жидкостях в общем случае нельзя получить информации об этом из-за непрерывной и очень быстрой переориентации молекул. Чтобы исследовать анизотропию химических сдвигов, следовало бы проводить измерения в кристаллах. Но в кристаллах, с другой стороны, диполь-дипольное взаимодействие приводит к уширению линий и потере необходимой информации. Получается заколдованный круг. Разорвать его можно, устранив диполь-дипольное взаи-



модействие. Для этого было бы достаточно постоянной переориентации магнитного момента молекул в кристалле. В начале статьи мы упоминали, что спины могут быть «повернуты» при воздействии краткого высокочастотного импульса. Стохастическая последовательность таких импульсов могла бы произвести нужный эффект и усреднить диполь-дипольные взаимодействия. При этом были бы получены узкие линии, но химические сдвиги здесь также отсутствовали бы, так как их анизотропия тоже усредняется. Таким образом, пробле-

сдвиг уменьшается лишь в  $\sqrt{3}$  раз. Трудность, однако, состоит в том, что вследствие большой ширины линий (20 Гс и больше) в твердых телах требуется наложение очень сильных переменных магнитных полей ( $B_1 \approx 50$  Гс); повороты на  $90^\circ$  совершаются тогда за  $1,2 \cdot 10^{-6}$  с. Кроме того, импульсный цикл должен совершаться за время  $\tau \ll T_2$ . Это предъявляет очень высокие требования к импульсным спектрометрам, не всегда выполнимые на практике. Однако с помощью этого метода все же удалось сузить линии протонного



Спектр протонного резонанса  $KH_3[SeO_3]_2$ . Пунктиром показан сигнал, получаемый в обычных условиях; цветной линией — после последовательности «WNN 4».

ма состоит в создании таких импульсных последовательностей, которые, устраняя диполь-дипольные взаимодействия, не препятствовали бы измерению химических сдвигов.

10 лет назад Дж. Уо, Р. Хеберлен, П. Мэнсфилд и др. решили проблему высокого разрешения для кристаллических образцов. Они нашли возможность таких изменений при «поворачивании» спинов, при которых диполь-дипольные взаимодействия усредняются и исчезают, а химический сдвиг не затрагивается. Этого можно достичь различными путями. Мы хотели бы пояснить это на примере последовательности импульсов «WNN 4» (Waugh, Haeberlen, Huber). Она состоит только из импульсов, поворачивающих за определенный промежуток времени вектор ядерной намагниченности на  $90^\circ$  вокруг двух взаимно перпендикулярных осей. Если вычислить среднее значение намагниченности, возникающее в результате всех поворотов за время цикла, то среднее значение локального поля в первом приближении исчезает, в то время как химический

резонанс в твердых телах настолько, что появляется возможность наблюдать химические сдвиги и исследовать их анизотропию.

Другой метод, предложенный Е. Эндрю, использует быстрое вращение образца. Расчет показывает, что если ось вращения составляет с направлением магнитного поля угол  $\alpha \approx 55^\circ$  ( $3 \cos \alpha - 1 = 0$ ), то диполь-дипольное взаимодействие при очень быстром вращении не проявляется. Использование этого метода в сочетании с импульсной техникой («WNN 4») позволило в настоящее время достичь наибольших успехов при исследовании протонного резонанса высокого разрешения в кристаллах.

Иных путей решения требует проблема исследования редких изотопов, например  $^{13}C$ . Этот изотоп, как мы уже отмечали, содержится в природном углероде лишь в количестве 1,1%. Это означает, что из 92 атомов углерода лишь один имеет ядерный спин. В таком случае нет нужды опасаться диполь-дипольных взаимодействий между ядрами  $^{13}C$ , но возникает другая трудность — отношение сигнал/шум оказывается слишком низким. Кроме того, необходимо устранить взаимодействие ядер  $^{13}C$  с другими ядрами, например с протонами. В последние годы



## Все ли мы знаем о нефти!

В. Д. Наливкин



Василий Дмитриевич Наливкин, член-корреспондент АН СССР, заведующий отделом научных основ прогнозирования нефтегазоносности Всесоюзного нефтяного научно-исследовательского геологаразведочного института Министерства геологии СССР. Занимается геологией нефти и тектоникой платформ в связи с поисками нефти и газа.

Больше ста лет прошло со времени, когда началась промышленная добыча нефти. И на протяжении всех этих лет геологи, нефтяники, химики пытались и пытаются ответить на вопросы, связанные с этим интереснейшим полезным ископаемым. Многие проблемы, конечно, уже решены. Например, достаточно твердо обосновано органическое происхождение нефти, связь нефти с определенными геологическими структурами, необходимость плотных пород — экранов и пористых пород — коллекторов для концентрирования нефти и т. д. Но даже сейчас, во второй половине «нефтяного века», мы не можем сказать, что знаем о нефти все.

Хорошо известно, что нефть способна менять свой состав, превращаясь в газ или битум. Газ со временем может обогащаться жидкими, нефтяными компонентами. Известно также, что нефть и газ очень подвижны. Подобно воде, собирающейся в ручьи, реки и моря, нефть с газом стремятся собраться в крупные скопления. Только собираются они не в понижениях, а в местах поднятия слоев горных пород, т. е. они стремятся всплыть вверх. Отличие состоит также в том, что газ и нефть не образуют быстро текущих потоков. Это скорее тоненькие струйки, которые часто и надолго «пересыхали». Тем

не менее доказано, что нефть и газ могут перетекать по пластам более чем на 100 км.

А вот на вопрос, почему материка Южного полушария заметно беднее нефтью и газом, чем материка Северного полушария, пока более или менее четкого ответа нет. Разница между ними весьма существенна. Если в Южном полушарии на 1 км<sup>2</sup> площади осадочных пород, в которых накапливается нефть, приходится около 6 тыс. т. выявленных запасов нефти, то в Северном — эта величина достигает 33 тыс. т. При этом отношение запасов газа к нефти в Южном полушарии больше, чем в Северном.

Прежде чем пытаться ответить на вопрос, чем вызвано такое распределение нефти и газа, напомним, что для образования больших количеств этих полезных ископаемых наиболее благоприятны крупные области накопления мощных толщ осадочных пород, часто называемые бассейнами осадконакопления. Особенно богаты нефтью и газом бассейны, заполненные морскими песчано-глинистыми толщами.

На континентах Южного полушария, входивших в состав древнего континента Гондваны, таких бассейнов мало. Наибольшее их количество сосредоточено на материках Северного полушария, входивших в состав другого древнего континента.

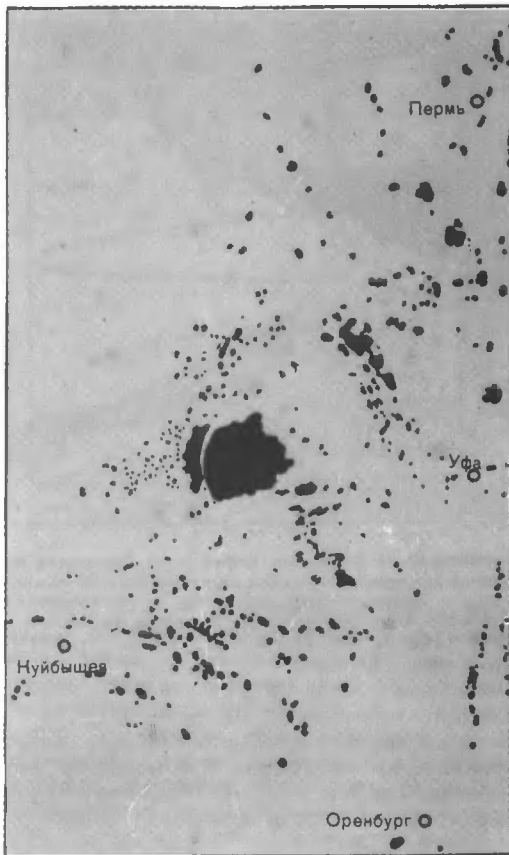
нента — Ангариды. Этим и можно объяснить богатство материков Северного полушария нефтью и газом. Кроме того, на материках Южного полушария преобладают континентальные осадки. Содержащееся в них органическое вещество, представляет собой в основном остатки растений. Это вещество генерирует преимущественно газ, правда, в меньших количествах, чем органическое вещество животного происхождения. Именно этим обусловлена повышенная концентрация газовых месторождений в Южном полушарии.

Месторождения нефти и газа распределены неравномерно не только между Северным и Южным полушариями, но и внутри отдельных регионов. Это обычная картина: нефтематеринские толщи распространены на больших площадях, но ловушки, собирающие нефть и газ, размещены значительно равномернее, чем месторождения. Последние концентрируются в одном или нескольких районах в пределах этих площадей. При этом нефть и газ не заполняют все имеющиеся ловушки, хотя они, казалось бы, равноценны. Лишь в исключительно богатых регионах большинство ловушек бывает нефтегазоносными.

Чем же вызвано неравномерное распределение нефти и газа? По-видимому, оно определяется местоположением путей, по которым мигрировала нефть. Суть дела заключается в том, что нефть и газ первоначально выделяются из материнских пород в виде очень мелких капелек и пузырьков. При этом газ иногда сразу же растворяется в воде. Для того чтобы образовать месторождение, содержащее миллионы тонн нефти или миллиарды кубических метров газа, нефти и газу нужно собраться в одном месте с довольно значительной площади. Направление путей миграции определяется наклонами пластов и положением наиболее проницаемых участков в них. Несколько путей всегда бывают наилучшими. По ним и идут основные потоки нефти и газа. Итак, неравномерная миграция вместе с неравномерным распределением ловушек и участков, благоприятных для сохранности месторождений, создают общую неравномерность распределения нефти и газа внутри бассейнов осадконакопления. Вероятно, местоположением путей миграции объясняется также отсутствие нефти и газа в хороших ловушках, встречающихся в непосредственной близости от месторождений.

Неясно также, почему некоторые бассейны осадконакопления настолько бо-

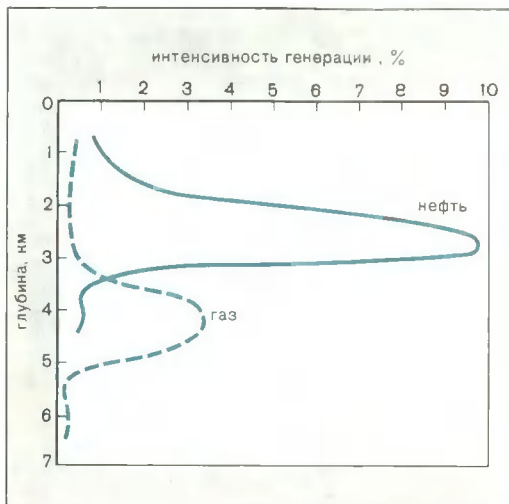
гаты нефтью, что трудно представить себе, откуда она взялась, даже если исходить из максимальных генерационных возможностей нефтематеринских толщ и минимальных потерь нефти при миграции и разрушении. Например, в бассейне Лос-Анджелес, на западе США, согласно расчетам С. Г. Неручева, генерационный потенциал слишком мал, чтобы объяснить имеющееся количество нефти. Здесь на 1 км<sup>2</sup> приходится 300 тыс. т нефти. Еще больше плотность запасов нефти в бассейне Мара-



Характерный пример неравномерного размещения нефтяных и газовых месторождений. Волго-Уральская нефтегазоносная провинция (по С. П. Максимо-ву, 1970).

каибо, расположенном на западе Венесуэлы, — около 800 тыс. т на 1 км<sup>2</sup>.

Наряду с этим непонятно, отчего так беден Мозамбикский прогиб, идущий вдоль всего юго-восточного побережья Африки. Здесь найдено лишь несколько небольших, преимущественно газовых месторождений, хотя мощность осадочных пород достигает 8—10 км и среди них немало морских глинистых толщ. Непонятно также, почему почти нет нефти и газа в бассейне Регган на северо-западе Африки, на восточном шельфе Северной Аме-



Интенсивность генерации нефти и газа меняется по мере погружения горных пород и повышения температуры. Интенсивность выражена в процентах от сапропелевого органического вещества, содержащегося в горных породах (по С. Г. Неручеву, 1978).

рики и в других глубоких бассейнах, содержащих морские осадки. К сожалению, выяснить, чем же вызваны исключительное «богатство» и исключительная «бедность» отдельных бассейнов осадконакопления, пока не удалось.

Необъяснимым, на первый взгляд, представляется и тот факт, что в складчатых палеозойских и мезозойских бассейнах осадконакопления имеются только газовые месторождения. Казалось бы, многочисленные трещины в измененных и уплотненных породах этих бассейнов должны способствовать разрушению в первую очередь газовых месторождений и уже во вторую — нефтяных. На самом же деле нефтяные месторождения здесь отсутствуют.

Подобные недоумения закономерны и относительно залежей газа, находящихся на больших глубинах. Глинистые породы-экраны, под которыми собираются нефть и газ, на глубине более 3—4 км под действием соответствующих этим глубинам температур теряют пластичность и становятся трещиноватыми. Однако результаты бурения показывают, что с глубиной количество газа по отношению к нефти растет.

Чтобы разрешить все эти недоумения, обратимся к теории нефте- и газообразования. Генерация нефти и газа из органического вещества происходит стадийно. На первой стадии при небольшом погружении осадков и, соответственно, при малых температурах (до 80—90°C) образуется преимущественно газ. При дальнейшем погружении генерируется главным образом нефть<sup>1</sup>. Наконец, на больших глубинах, при высоких температурах (более 170°C) генерация нефти почти прекращается, но продолжается генерация газа<sup>2</sup>. В тех же случаях, когда температура превышает 200—220°C, образовавшаяся ранее нефть, частично распадается, превращаясь в газ и твердый остаток — кокс.

Итак, из теории нефтегазообразования следует, что на большой глубине газ выделяется из материнских пород в больших количествах, чем нефть. При погружении на глубину 4—5 и более км нефтяные залежи, образовавшиеся ранее на меньшей глубине, начинают разрушаться, частично превращаясь в газ и битум, а частично вытесняясь из ловушек газом. Следовательно, на большой глубине, а также в складчатых областях, где создаются аналогичные условия для генерации и сохранности нефти и газа, идет процесс замещения нефти газом. В тех местах, где этот процесс протекает наиболее активно, остается только газ. Обстановка для формирования его месторождений здесь также неблагоприятна — слишком сильные процессы разрушения. Однако генерация газа продолжается, и в небольших, хорошо изолированных ловушках образуются и сохраняются мелкие его залежи. Но эти залежи газа, по-видимому, недолговечны.

Исключением из этого правила являются молодые, кайнозойские, бассейны, в которых слабо преобразованные породы,

<sup>1</sup> Вассоевич Н. Б. «Известия АН СССР, сер. геол.», 1967, № 11, с. 135—156.

<sup>2</sup> Неручев С. Г. Осадочно-миграционная теория образования нефти и газа. М., 1978, с. 65—75.

генерирующие преимущественно нефть, уходят на глубину 4—5 км и даже больше. Поэтому нефть здесь встречается на глубине до 6 км, т. е. в той зоне, где в палеозойских и мезозойских бассейнах распространены газ.

На большой глубине (более 5 км) нефть найдена также в Северном Прикаспии, хотя здесь развиты не молодые кайнозойские породы, а более древние — палеозойские и мезозойские. Однако в этом бассейне присутствуют мощные толщи каменной соли, деформированные





ным куполам<sup>3</sup>. В результате на больших глубинах под этими куполами сохранились хорошие коллекторы и непретворенные залежи нефти.

Странным также представляется тот факт, что нефтяные залежи иногда встречаются в глинистых породах, плохо проницаемых для нефти, как, например, в богатой органическим веществом глинистой верхнеюрской толще Западной Сибири. Как могла попасть в нее нефть?

Реакция образования нефти из органического вещества протекает с выделени-



Пояс битуминозных песков Ориноко в Венесуэле, совпадающий с краевой частью бассейна осадочно-накопления (по И. В. Высоцкому и др., 1977).

-  битуминозные пески
-  нефтяные месторождения
-  неогеновая складчатая система
-  кристаллические породы фундамента, выходящие на поверхность

в огромные купола высотой несколько километров. Соль имеет большую теплопроводность, чем многие другие осадочные породы. Поэтому некоторые геологи пришли к выводу, что наличие нефти на больших глубинах обусловлено здесь тем, что тепло недр Земли отводится по соля-

ем тепла. Поэтому можно предположить, что процесс ее генерации является бурным и сравнительно быстрым. В тех случаях, когда нефтематеринская глинистая толща, богатая органическим веществом, не соприкасается со способными вбирать нефть пористыми породами, вся образовавшаяся нефть остается в глинистых породах. Частично она будет замещать органическое вещество, входящее в состав глинистых пород, а частично раздвигать имеющиеся в породах трещины. Буровые скважины, вскрывшие такую толщу глинистых пород, дают притоки нефти. Именно в таком состоянии находятся глинистые верхнеюрские породы Западной Сибири, продуцирующие нефть<sup>4</sup>.

Небезынтересным представляется также вопрос, как образовались огромные

<sup>3</sup> Соболев В. С., Парпарова Г. М. «Доклады АН СССР», 1975, т. 221, № 3, с. 722—726.

<sup>4</sup> Гурари Ф. Г., Гурари И. Ф. «Геология нефти и газа», 1974, № 5, с. 36—40.



запасов битумов в бассейне р. Атабаска (Западная Канада) и в бассейне р. Ориноко (Венесуэла), превышающие по начальным запасам нефти богатейшие провинции мира.

Чтобы на него ответить, попытаемся понять, что происходит под землей после того, как нефть выделилась из нефтематеринских пород и начала свое движение. В тех случаях, когда на путях ее миграции нет достаточного количества ловушек, способных уловить всю движущуюся нефть, она продолжает мигрировать вверх по наклонным пластам до тех пор, пока не достигнет поверхности земли. Здесь нефть попадает в зону окисления. Легкие компоненты частично испаряются, а частично, вместе с основной массой нефти, превращаются в тяжелые нефти и битумы. Именно такая ситуация существовала и существует в настоящее время в Западноканадском и Оринокском осадочных бассейнах. Структурных ловушек здесь мало, а глинистые породы-экраны, не позволяющие нефти и газу мигрировать вертикально вверх, простираются от края до края бассейнов и выводят на дневную поверхность большую часть нефти. Количество битумов и тяжелых нефтей, образовавшихся в этих бассейнах, огромно. В Западноканадском бассейне их запасы оцениваются в 150, а в Оринокском — почти в 600 млрд т. Теперь подсчитаем, какому количеству нефти это соответствует. Для образования 1 т битума требуется около 1,5—3 т нефти. Поэтому можно считать, что в Оринокском бассейне нефти было значительно больше, чем в богатейшем Месопотамском бассейне на Ближнем Востоке. Жаль, что эта нефть и нефть Западноканадского бассейна не попала в ловушки, и человечество лишилось существенной части столь необходимого ему полезного ископаемого.

Вообще, потери нефти и газа огромны. По расчетам Г. С. Неручева, в ловушки попадает и сохраняется около 10—15% нефти и 1—2% газа. Многие бассейны, особенно древние, не раз за свою историю поднимались в результате геологических процессов. Слагающие их осадки размывались, а месторождения разрушались. Разрушались они и за счет диффузии; в первую очередь, это касается газовых месторождений. Логика подсказывает — чем дольше существует месторождение, тем больше шансов, что оно разрушится. Фактические данные подтверждают это предположение. На 1 км<sup>3</sup> осадочных пород различного возраста приходится примерно следующее количество нефти и га-

за: ранний палеозой — 50 т, средний и поздний палеозой — 400 т; мезозой — 1100 т; кайнозой — 700 т. В более древних, позднепротерозойских отложениях известны лишь единичные месторождения. В будущем, после того как будут выявлены все запасы нефти и газа, эти цифры могут удвоиться, но соотношение вряд ли существенно изменится, так как будут открыты преимущественно средние и мелкие месторождения, а соотношение их запасов с запасами крупных месторождений более или менее постоянно.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Хетимский Б. Г., Топорский В. Б., Махولين О. А. НЕФТЬ ВЧЕРА И СЕГОДНЯ. Л., 1977.

Бена К., Высоцкий И. В. ГЕОЛОГИЯ НЕФТИ И ГАЗА. М., 1976.

Раабен В. Т. РАЗМЕЩЕНИЕ НЕФТИ И ГАЗА В РЕГИОНАХ МИРА. М., 1978.

## ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ: ПРОГНОЗ И ПРЕДВЕСТНИКИ

Землетрясения до сих пор остаются грозными явлениями природы, приносящими человечеству немало бед. Поэтому их прогноз — одна из актуальнейших проблем современной науки. Мы публикуем ряд материалов, касающихся некоторых аспектов прогноза землетрясений, их геохимических и гидрологических предвестников, а также землетрясений, вызываемых деятельностью человека.

### Успехи и просчеты прогноза землетрясения в Алайской долине

А. А. Никонов



Андрей Алексеевич Никонов, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР. Занимается движениями земной коры, вопросами сейсмотектоники. Автор монографии: *Современные движения земной коры*. М., 1979 г. В журнале «Природа» опубликовал статьи: «Современные движения земной коры» (1972, № 3); «Разлом Сан-Андреас предостерегает...» (1973, № 12); «Вертикальные движения побережий полярных морей» (1978, № 6).

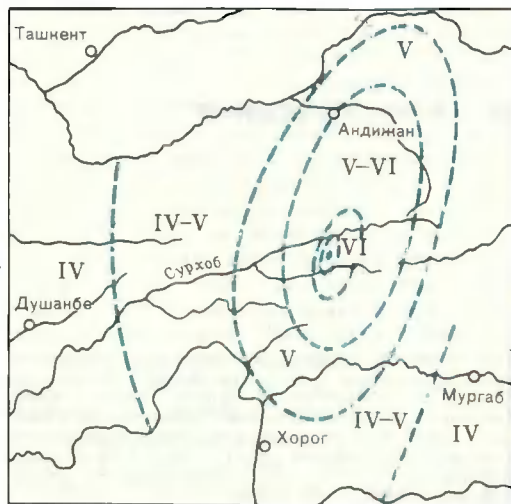
Сегодня мнения исследователей о путях и возможностях решения проблемы предсказания землетрясений неоднозначны<sup>1</sup>, поскольку пока идет лишь проверка различных методов прогноза, сбор и систематизация первичного фактического материала. На этой стадии исследования нельзя обойтись без осмысления отдельных случаев как успешных предсказаний, так и неизбежных на начальном этапе ошибок. Сравнительно недавно, в ночь на 2 ноября 1978 г., произошло землетрясение, время и место которого были достаточно определенно предсказаны.

Речь идет о землетрясении, эпицентр которого располагался в Заалайском хребте, вблизи границы Таджикистана и Киргизии, толчки же ощущались на значительной части территории Средней Азии. При магнитуде 6,8 интенсивность землетрясения в зоне, прилегающей к эпицентру, достигала 8 баллов, 6-балльным сотрясениям подверглась Алайская долина, а жители юго-восточной Ферганы испытали 5—6-балльный толчок.

Напомним, что прогноз землетрясения можно считать полным, если заблаговременно предсказываются три элемента будущего события: место, сила и время. До сих пор не разработаны способы предвидения точного места и времени землетрясений в пределах сейсмически опасных

<sup>1</sup> Соловченко В. П. Прогноз землетрясений — желаемое и достигнутое. — «Природа», 1979, № 2.

регионов, выделенных на картах сейсмического районирования. По-видимому, долгое время прогноз будет вестись по следующей схеме: сначала в пределах сейсмического региона или сейсмической зоны выделяется некая достаточно обширная область, где в течение нескольких лет или десятилетий можно ожидать крупного землетрясения. Последующими исследованиями область ожидаемого события сужается, определяются возможная сила толчка или его энергетическая характеристика — магнитуда и опасный период



Местоположение эпицентральной зоны землетрясения в Алайской долине. Цветными линиями показаны изосейсты, римскими цифрами — интенсивность сотрясений в баллах.

времени. На следующей стадии разработок уточняется место предстоящего толчка, а время ожидания события сокращается до нескольких дней и часов. В сущности, прогноз состоит из трех последовательных стадий: долгосрочного, среднесрочного и краткосрочного.

Рассмотрим, как были реализованы возможности долгосрочного, среднесрочного и краткосрочного прогноза в случае землетрясения в Алайской долине.

Одним из важнейших элементов долгосрочного прогноза является анализ пространственно-временного хода сейсмичности. При анализе землетрясений в среднеазиатском регионе мы ограничились землетрясениями, очаги которых находились в пределах земной коры (т. е. до глубины 50—70 км) и магнитуда которых была не менее 6,5. При таком отборе событий из

огромного количества землетрясений в Средней Азии мы получаем возможность освободиться от сейсмического шума и обнаружить главные черты сейсмотектонического процесса. В этом регионе землетрясения магнитудой более 6,5 имеют соизмеримые с мощностью земной коры размеры очага и потому должны быть связаны с тектоническими процессами именно в земной коре. Кроме хорошо известных землетрясений, зарегистрированных инструментальными методами, мы учитывали землетрясения XVIII и XIX в., хотя их магнитуды определяются со значительно меньшей точностью.

Подавляющее большинство сильных землетрясений Средней Азии происходит в крупнейших региональных зонах разломов. При анализе пространственно-временного распределения сильных землетрясений естественно было попытаться проследить, не «перемещаются» ли эпицентры вдоль крупных разломов и, если перемещаются, то нет ли определенной закономерности в этом перемещении.

Когда эпицентры сильных землетрясений легли на схему главных разломов юга Средней Азии, обнаружилось последовательное во времени их перемещение от периферии к некоей субмеридиональной осевой полосе. Эта воображаемая полоса примерно пополам рассекала Памир, грубо говоря, как ось симметрии Памирских тектонических дуг. Нетрудно было построить график, по оси абсцисс которого откладывались расстояния от упомянутой оси симметрии вдоль протяжения каждой из зон разломов, а по оси ординат — время от начала XVIII в. до 2000 г. Нанеся положение эпицентров, мы получили график миграции сильных землетрясений вдоль крупнейших зон разломов — Гиссаро-Кокшаальской и Дарваз-Каракульской. Хотя в каждой из них за последние примерно 250 лет известно только 6—9 сильных землетрясений и, следовательно, ни о какой статистике говорить нельзя, вполне отчетливо видно, что эпицентры землетрясений от внешних участков протяжения разломов перемещаются вдоль них навстречу друг другу к меридиональной полосе в вершине Памирских дуг.

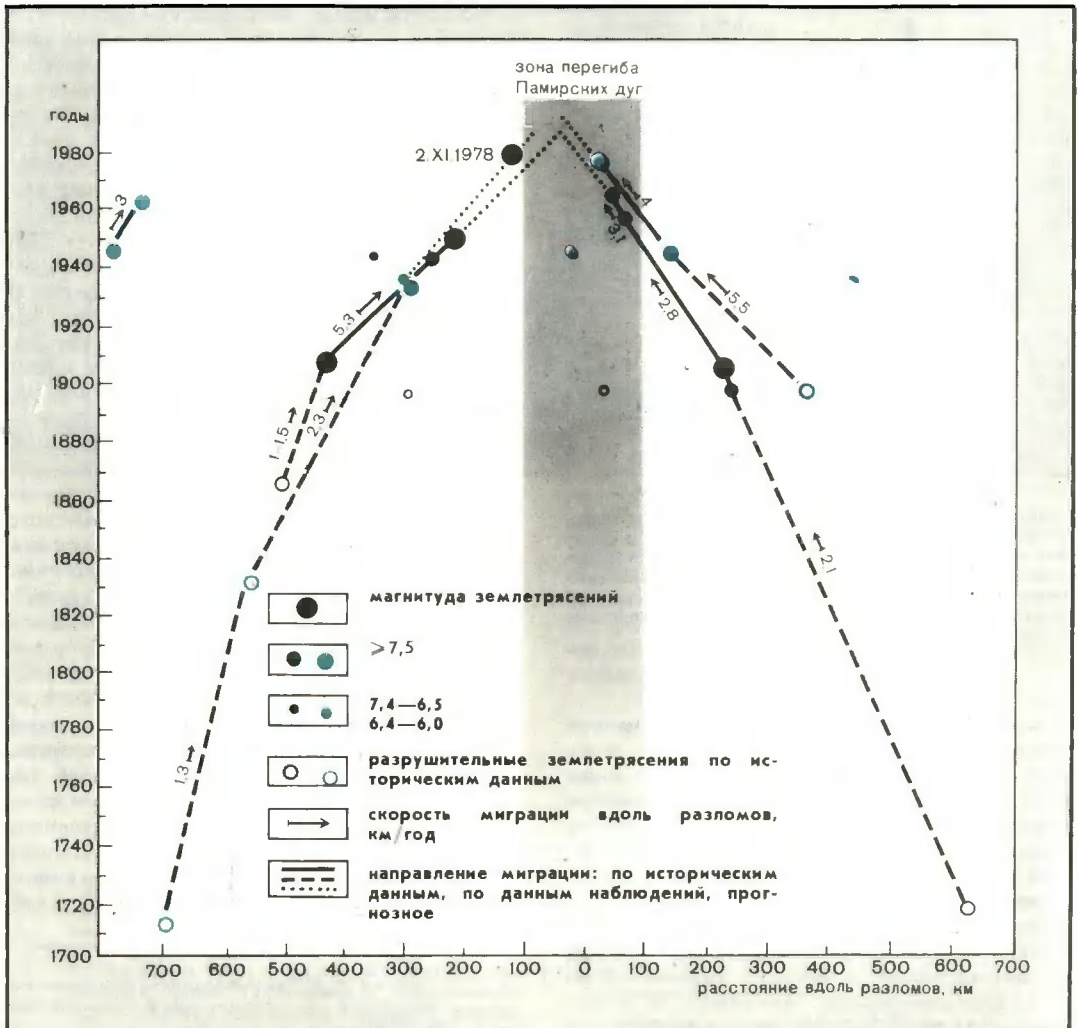
Наметились как бы волны сейсмической (тектонической) активности, идущие вдоль определенных линий в определенных направлениях с определенной скоростью. Средняя скорость миграции, по нашим подсчетам, оказалась равной 2—5 км/год. Отсюда вытекала возможность прогноза места и периода вероятно-

го возникновения сильных землетрясений в рассмотренной части Средней Азии.

Наиболее опасными нам представлялись участки Гиссаро-Кокшаальской и Дарваз-Каракульской зон разломов на долгие Алайской долины. Нетрудно было подсчитать, что если скорость миграции эпицентров землетрясений сохранится, то на этом участке с 1975 г. по 1990 г. можно ожидать возникновения сильных землетрясений<sup>2</sup>. Однако оставалось множество поводов для сомнений.

Действительно, намеченный участок зоны сочленения Памира и Тянь-Шаня оставался сейсмически спокойным более ста лет, в отличие от западного и восточного. По крайней мере с тех пор, как первый русский исследователь А. П. Федченко в 1871 г. побывал в Алайской долине, крупных землетрясений здесь не было. Много лет работавшие в Алайской долине и ее

<sup>2</sup> Никонов А. А. «Доклады АН СССР», 1975, т. 225, № 2, с. 306—309.

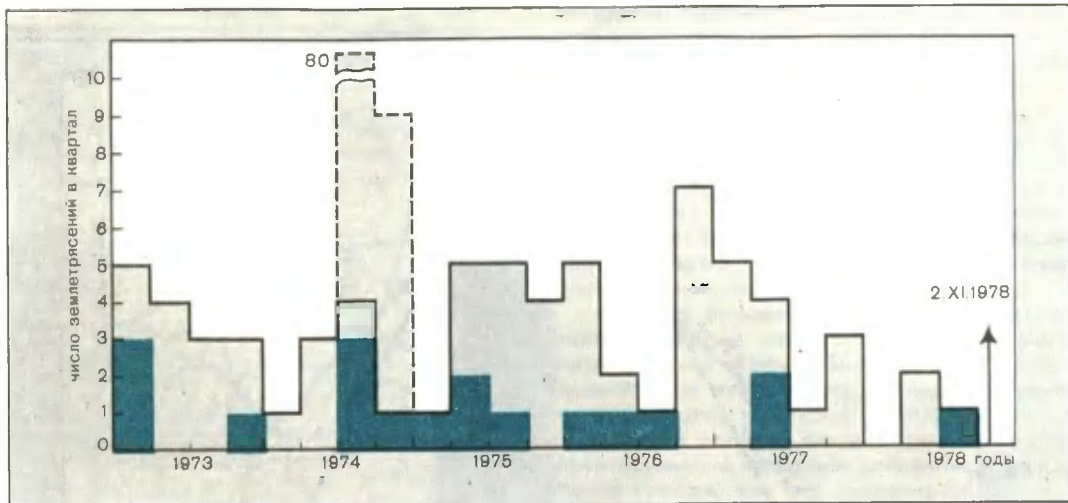


Миграция сильных землетрясений вдоль крупных зон разломов — Гиндукуш-Дарваз-Каракульской (цвет) и Гиссаро-Кокшаальской. На графике видно перемещение сильных землетрясений вдоль раз-

ломов от периферии к поперечной оси Памира на меридиане Алайской долины. Именно здесь произошло землетрясение 2 ноября 1978 г.

горном обрамлении геологи Н. Н. Леонов<sup>3</sup> и О. П. Сапов<sup>4</sup> пришли к выводу о пониженной тектонической активности в Гиссаро-Кокшаальской и Дарваз-Каракульской зонах на долготе Алайской долины. Этим они объясняли слабую сейсмическую активность этого участка. Было даже высказано мнение, что по южному ограничению Алайской долины не могут возникать землетрясения магнитудой 5,5 и выше. Однако это заключение появилось в печати в 1976 г. уже после того, как в восточной части участка, в Дарваз-Каракульской зоне раз-

ского хребта явлением временным<sup>5</sup>. К выводу о вероятности будущих сильных землетрясений в Алайской долине пришла группа авторов путем изучения характерных морфологических признаков известных сеймотектонических узлов и выделения по аналогичным признакам узлов еще не проявившихся землетрясений<sup>6</sup>. Многие сомнения в потенциальной сейсмической опасности района отпали после того, как при полевых работах 1975 г. нам удалось обнаружить вполне отчетливые и широко распространенные, например,



гистограммы поквартального распределения количества слабых ( $M > 3,5$ ) землетрясений перед сильным толчком на площади 62 тыс. км<sup>2</sup> и на площади радиусом 30 км (цвет) вокруг эпицентра главного толчка. Пунктиром показаны афтершоки (толчки, следующие за основным ударом) Маркансуйского землетрясения.

ломов, произошло Маркансуйское землетрясение с магнитудой около 7,3.

Правда, еще до землетрясения и до появления нашей гипотезы миграции существовало представление о вероятности будущих сильных землетрясений в Алайской долине. Так, известный исследователь Таджикистана И. Е. Губин считал отсутствие сильных землетрясений по Дарваз-Каракульскому разлому в пределах Заалай-

вдоль северного подножия Заалайского хребта, крупные молодые разрывы и сейсмодислокации взбросово-надвигового типа. Уступы и рвы тянутся здесь через ледниковые холмы и речные долины. Молодость этих образований (местами они нарушают даже современный почвенный покров) не оставляли сомнения в том, что в исторически недавнее время район подвергался неоднократным сильным землетрясениям.

В 1976 г. появилась публикация, где потенциально опасными в отношении сильных землетрясений также были признаны участки Гиссаро-Кокшаальской и Дарваз-Каракульской зон разломов на меридианах западного и восточного окончаний Алай-

<sup>3</sup> Леонов Н. Н. Тектоника и сейсмичность Памиро-Алайской зоны. М., 1961.

<sup>4</sup> Сапов О. П. Строение и динамика Северо-Памирского краевого разлома. — В кн.: Вопросы сейсмического районирования территории Таджикистана. Душанбе, 1976.

<sup>5</sup> Губин И. Е. Закономерности сейсмических проявлений на территории Таджикистана. М., 1960.

<sup>6</sup> Гельфанд И. М. и др. Распознавание мест возможного возникновения сильных землетрясений. — В кн.: Вычислительные и статистические методы интерпретаций сейсмических данных. М., 1973.

ской долины<sup>7</sup>. Это заключение основывалось на предположении о том, что со временем должны заполняться промежутки между очагами произошедших сильных землетрясений, т. е. участки некоего дефицита выделения энергии в пределах крупных сейсмогенных зон, как это было показано для Курило-Камчатской зоны известным советским геофизиком С. А. Федотовым еще в начале 60-х годов.

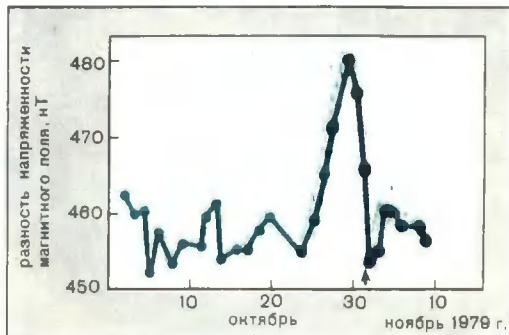
Дополнительное подтверждение высокой сейсмической опасности участка сочленения Памира и Тянь-Шаня в вершине Памирских дуг получено при модельных экспериментах в лаборатории тектонофизики Института физики Земли АН СССР<sup>8</sup>. Локальное поле напряжений в плоской упругой модели, имитирующей основные тектонические разрывы Средней Азии в условиях субмеридионального сжатия, оказалось максимальным именно на участке, соответствующем сочленению Памира и Тянь-Шаня на долготе Алайской долины.

Все это позволило автору в 1976—1977 гг. высказать предположение о том, что на северном склоне Заалайского хребта около пика Ленина или западнее и в южной части Алайского хребта<sup>9</sup> до 1990 г. следует ожидать сильных землетрясений. Чтобы проследить динамику процессов в земной коре и усовершенствовать методику выявления непосредственных предвестников землетрясений, нужны были целенаправленно сейсмологические, геофизические, геодезические исследования.

Однако выводы о грозящем району сильном землетрясении были признаны дискуссионными, и широких исследований вблизи будущего эпицентра осуществить не удалось. Только силами одного отряда Института физики Земли в сентябре 1978 г. вблизи будущей эпицентральной зоны были проведены небольшие геолого-геоморфологические работы. Отряд покинул эпицентральной зону будущего землетрясения 26 сентября 1978 г.

Землетрясение произошло 2 ноября 1978 г. в 01 ч 48 мин 28 сек местного времени в Заалайском хребте западнее пика Ленина, т. е. в соответствии с долгосрочным прогнозом. Поскольку среднесрочный прогноз не был осуществлен, землетрясение для большинства исследователей оказалось неожиданным.

Пожалуй, одним из основных признаков приближающегося крупного сейсмического события в настоящее время считается изменение сейсмической активности. Известно, что перед сильными зем-



Ход разности напряженности магнитного поля между пунктами Андижан и Ташкент перед и в период землетрясения. Момент землетрясения отмечен стрелкой (по Г. А. Мавлянову, В. И. Улемову и др.)

летрясениями в будущей эпицентральной зоне нередко значительно возрастает количество слабых толчков. В других случаях перед сильным землетрясением может наступить значительное ослабление сейсмической активности, так называемое сейсмическое затишье, или даже молчание.

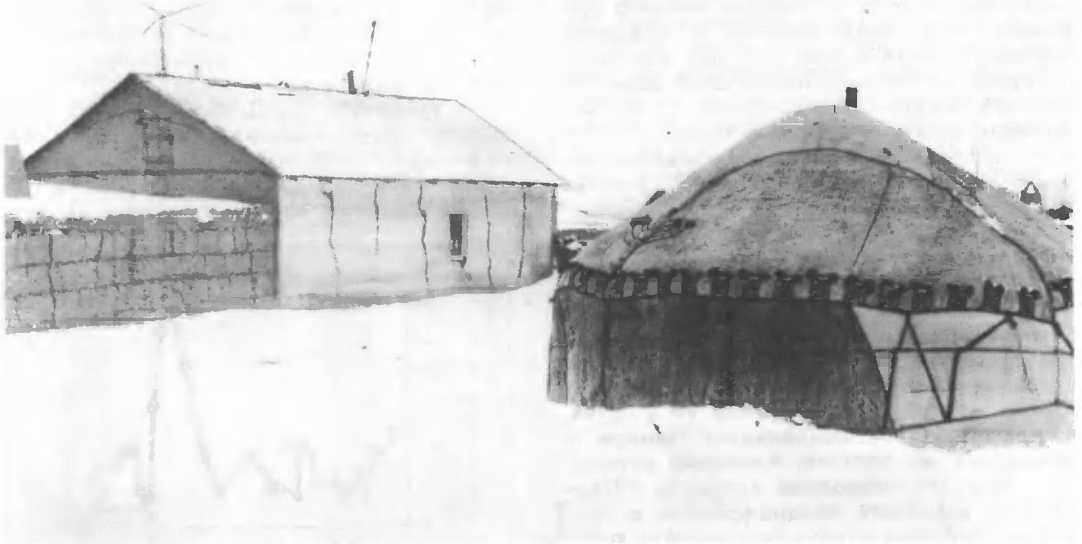
Выявление аномалий в сейсмическом режиме особенно важно для районов, где иные геофизические изменения по тем или иным причинам не проводятся. Именно поэтому сейсмологам необходимо было заблаговременно провести исследование слабых и умеренных толчков на опасном участке. И. А. Веселовым и автором этой статьи, к сожалению уже после землетрясения, были проделаны следующие операции. Из оперативного сейсмологического бюллетеня сделана выборка землетрясений в пределах прямоугольника площадью около 62 тыс. км<sup>2</sup>, включающей эпицентральной зону землетрясения 2 ноября 1978 г. График распределения среднегодового числа землетрясений за 1973—1978 (до 1.XI. 1978) гг. показывает усиле-

<sup>7</sup> Мирзоев К. М. Основные характеристики сейсмичности сейсмогенных зон Таджикистана. — В кн.: Сейсмоструктура некоторых районов юга СССР. М., 1976.

<sup>8</sup> Осокина Д. Н. и др. Моделирование локальных полей тектонических напряжений, обусловленных системами глубинных разломов (на примере двух районов Средней Азии). — В кн.: Поля напряжений и деформаций в литосфере. М., 1979.

<sup>9</sup> Никонов А. А. Голоценовые и современные движения земной коры. М., 1977, с. 209—210.





Трещины в домах в зоне, где ощущались толчки в 6 баллов. Фото автора.

ние сейсмической активности в 1975—1977 гг. и последующее ослабление со второй половины 1977 г. в указанном прямоугольнике. Еще более определенно выявляются изменения, если ограничиться кругом с радиусом 50 км вокруг эпицентра. В период от 1974—1975 до 1977 г. отчетливо наблюдается сокращение числа толчков вплоть до их полного прекращения. Последний перед основным событием толчок произошел за 16 мес., между тем как в предшествующие годы толчки повторялись через 2—6, максимально через 9 мес.

Если ограничиться площадью, в два раза превышающей площадь проекции очага на поверхность, то период сейсмического затишья перед толчком составит 26 мес. Зона молчания соответствовала участку северного склона Заалайского хребта западнее пика Ленина. Вероятность случайного совпадения явлений, по времени и месту, хотя и не подсчитанная математически, представляется весьма малой. Но насколько такой признак, как сейсмическое молчание, показателен в качестве среднесрочного предвестника сильного

толчка? При подобном анализе сейсмического режима перед Маркансуйским землетрясением 11.VIII. 1974 г. в том же Заалайском хребте аномалий не обнаружено. Вместе с тем обзор материалов по Средней Азии показывает, что «затишья перед бурей» известны сейчас перед 6 сильными и 27 толчками умеренной силы.

Все это позволяет считать сейсмическое затишье перед землетрясением 2.XI. 1978 г. явлением неслучайным и считать, что его анализ мог послужить для уточнения будущей эпицентральной зоны землетрясения и возможного времени главного толчка.

Если бы в Алайской долине были заблаговременно установлены геофизические приборы и сейсмические станции, мы обладали бы теперь значительно большей информацией о предшествующих сильному землетрясению явлениях. Положение и теперь не изменилось, хотя опасность сильных землетрясений здесь сохраняется.

Косвенным указанием на проявление перед землетрясением геофизических аномалий может служить поведение животных. Обобщение появившихся в мировой литературе сведений не позволяет теперь относиться к известиям об их необычном поведении перед землетрясениями как к легендам. Данные о поведе-



Разрушение построек в эпицентральной зоне землетрясения (8 баллов).

Фото автора.

нии животных перед землетрясением в Алайской долине собраны автором, частично совместно с Т. Аманкуловым, К. Исмаилахуновым и И. А. Веселовым путем опроса местных жителей также уже после того, как оно произошло.

В зоне землетрясения за месяц до него и более на поверхности земли видели двух пассивных змей, а за полмесяца — лягушку. Обычно же спячка пресмыкающихся и земноводных начинается с сентября месяца. Аналогичные случаи отмечены и перед другими сильными землетрясениями, в частности перед землетрясением 4.II.1975 г. в северо-восточном Китае.

Остается сказать о краткосрочном прогнозе. На американских специалистов, например, большое впечатление произвела точность, с которой советские специалисты предсказали землетрясение 2.XI.1978 г.<sup>10</sup> Действительно, вечером 1 ноября, примерно за 6 ч до землетрясения заместитель

директора Института сейсмологии АН Узбекской ССР В. И. Уломов сообщил в Институт физики Земли, что в ближайшие часы ожидается сильное землетрясение... в Ферганской долине. Основанием для прогноза послужила аномалия в вековых вариациях геомагнитного поля, обнаруженная в период 27—30 октября 1978 г. в районе г. Андижана при сравнении с аналогичными измерениями в Ташкенте<sup>11</sup>. Перед землетрясением отмечены также аномальные изменения уровня воды в опытной скважине около г. Андижана. Аномалии геомагнитного поля перед землетрясением наблюдали также сотрудники Института физики Земли на Гармском полигоне. Таким образом, краткосрочный прогноз при всей его точности во времени не сопровождался необходимой точностью указания места. Эпицентральной областью землетрясения оказалась удаленной от Андижана на 150—160 км к югу и на 180—200 км к востоку от Гарма. Несомненно, что аномалия в вековых вариациях геомагнитного поля выявилась бы гораздо отчетливее и помогла бы более определенной локализации будущей эпицентральной зоны, если бы приборы были установлены в самой Алайской долине.

<sup>10</sup> «За рубежом», № 26, июль 1979 г.

<sup>11</sup> Мавлянов Г. А. и др. «Доклады АН СССР», 1979, т. 246, № 2, с. 294—297.

Из расспросов жителей поселков в Алайской долине и пастухов в горах после землетрясения выяснилось, что по меньшей мере в десятке пунктах наблюдали аномальное поведение животных<sup>12</sup>. За несколько суток до землетрясения на припорошенной снегом земле в 6-балльной зоне видели ящериц, что совершенно необычно для этого времени года. В 7—8-балльной зоне у пастухов в долине Алтын-Дара за 8 час до землетрясения выли собаки. В пос. Дараут-Курган, т. е. в пределах 6-балльной зоны, мыши из подвала перебрались на чердак. В других местах за 4—5 час до события мыши выбежали на открытые пространства. Отмечалось также необычное поведение некоторых домашних животных и птиц на расстоянии до 65—70 км от эпицентра. Эти факты, от-

нюдь не новые в сейсмологической литературе, так или иначе вряд ли остались бы без внимания исследователей, если бы они находились вблизи очага будущего землетрясения.



Какие же уроки дало нам землетрясение в Алайской долине — первое из так или иначе ожидавшихся сильных землетрясений Средней Азии? Прежде всего ясно, что для прогноза необходимо активнее разрабатывать новые идеи и направления, в рабочем порядке проверять гипотезы, даже если они вызывают сомнения.

Во-вторых, нужно заблаговременно сосредоточивать весь комплекс исследований и прогностических разработок во всех представляющихся опасными местах, а не только на стационарных полигонах.

В-третьих, необходима «преемственность» в исследованиях по долгосрочному, среднесрочному и краткосрочному прогнозам.

<sup>12</sup> Никонов А. А. — «Известия АН СССР, Серия физика Земли», 1980, № 8, с. 108—111.

## Геохимические и гидрогеологические эффекты, сопровождающие землетрясения

Г. И. Войтов, Т. Г. Гречухина

Стало традицией, что процессы, протекающие в сейсмоактивных областях, изучают геофизики. От них ожидают решения теоретических проблем, связанных с землетрясениями, и, конечно, решения проблемы прогноза. Геохимическим же и гидрогеологическим эффектам в сейсмоактивных областях уделяется, вернее до недавнего времени уделялось, слишком мало внимания.

Тем не менее еще в начале века один из основателей современной сейсмологии Б. Б. Голицын указывал на необходимость комплексного подхода к решению проблемы прогноза землетрясений. В сформулированном им плане изучения

очаговых зон уже тогда были выделены гидрогеологические, гидрохимические и газовые эффекты, сопровождающие землетрясения.

### ВОДА В ОЧАГОВОЙ ЗОНЕ И НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В сейсмически наиболее активной полосе Земли — Тихоокеанском сейсмическом поясе — очаги землетрясений сосредоточены на глубине 100 км и более, однако в других районах земного шара они находятся значительно ближе к земной поверхности. Так, гипотетический центр Таш-



Георгий Иванович Войтов, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР. Основные научные интересы связаны с проблемами ядерной геологии и геохимии. В последние годы работает в области прогноза землетрясений. Автор более ста печатных работ. В «Природе» опубликовал статью: «Газовое дыхание Земли» (1975, № 3).



Тамара Георгиевна Гречухина, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Лаборатории мониторинга природной среды и климата Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды. Специалист в области охраны окружающей среды и геохимических проблем мониторинга.

кентского землетрясения 1966 г. располагался на глубине около 8 км, Дагестанского 1970 г. — 12—15 км, Ашхабадского 1948 г. — 10—12 км, Газлинского 1976 г. — 18—20 км и т. д. Это означает, что центральные области землетрясений, в которых накапливаются упругие деформации, чаще приходится на те глубины, где вода находится в жидком состоянии.

Вода принимает деятельное участие во всех процессах, сопровождающих формирование очаговых зон землетрясений. Например, порово-трещинные воды снижают трение на плоскостях сколов пород, облегчая скольжение блоков относительно друг друга. По данным американских сейсмологов У. Брейса и Ф. Пресса, при высоких поровых давлениях воды блоки могут смещаться по разломам даже под действием относительно малых тектонических напряжений.

Другая особенность поведения воды в очаговых зонах обусловлена ее физико-химическими свойствами: в первую очередь, способностью адсорбироваться на поверхностях трещин и сколов с образованием поверхностно-активных слоев. По данным П. А. Ребиндера, вода, проникая в трещины, создает огромные раскалывающие усилия, способствуя тем самым дальнейшему развитию трещин. В результате уменьшается прочность пород, что особен-

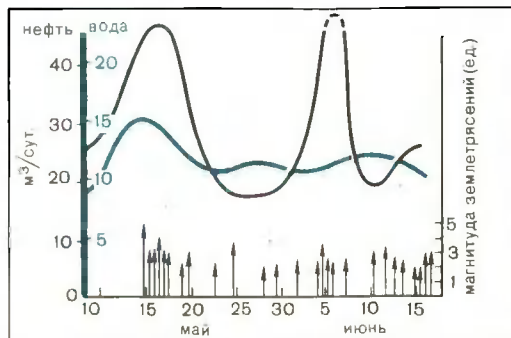
но важно на заключительных стадиях подготовки очаговых зон, непосредственно за которыми последует землетрясение.

Несмотря на то что гипотетические центры большинства землетрясений расположены на сравнительно небольшой глубине (в среднем 15 км), подземные воды в очаговых зонах находятся в перегретом состоянии. Благодаря этому их химическая агрессивность по отношению ко вмещающим породам резко повышена. На глубине около 10—12 км часть воды, по-видимому, находится уже в форме ионов, т. е. среда становится химически еще более активной. В ней возникают условия, благоприятные для образования устойчивых газообразных соединений, которые в водной среде могут мигрировать к поверхности Земли и далее — в атмосферу.

Подземные водоносные комплексы, несмотря на всю их сложность и кажущуюся изолированность, представляют собой единое целое. Но вода — практически несжимаемая жидкость. Следовательно, различного рода локальные физические неоднородности (деформации пород, трещины, сколы, разрывы и т. д.), возникшие на глубине, очень быстро должны распространиться на всю систему. Например, достигнув поверхности Земли, они проявятся в изменениях интенсивности источников или дебитов и уровней отдельных скважин.

## ПОЧЕМУ МЕНЯЕТСЯ ДЕБИТ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН?

О том, что при землетрясениях уровень воды в колодцах колеблется, известно достаточно давно. Такие явления, в частности, наблюдались при Невадском землетрясении 1915 г., Японском землетрясении 1923 г., землетрясении в дельте р. Колорадо в 1940 г. и т. д. Ташкентское землетрясение 1966 г. также сопровождалось повышением уровня воды в ряде водозаборных скважин; по сообщению ташкент-



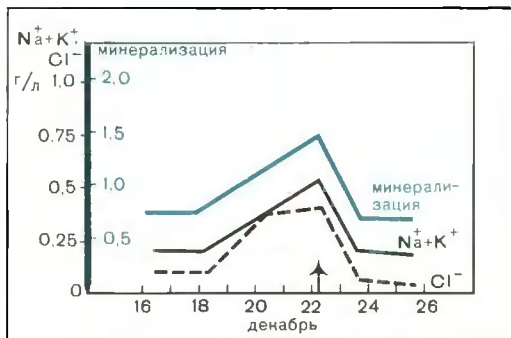
Колебания дебита воды [цветная кривая] и нефти [черная кривая] одной из скважин на месторождении Избербаш в период сильных тектонических землетрясений 1970 г. в Дагестане. Стрелками показана магнитуда землетрясений.

ского гидрогеолога Г. А. Мавлянова, в отдельных случаях уровень воды поднимался почти на 10 м.

Известны даже попытки использовать рассматриваемое явление для прогноза тектонических ударов. Наиболее удачной из них следует признать совсем недавнюю, предпринятую М. А. Садовским, Ф. И. Моныховым и А. Н. Семеновым на курильском о-ве Кунашир<sup>1</sup>. Основу предложенного ими метода прогноза составляли режимные наблюдения за уровнем воды в скважинах. Большинство из зарегистрированных колебаний уровня имеют характер медленного падения с последующей стабилизацией и резким подъемом. Эти колебания хорошо коррелируют с землетрясениями:

за несколько дней до землетрясения уровень воды во всех наблюдательных скважинах падал, а непосредственно накануне землетрясения падение приостанавливалось; землетрясение происходило либо во время наиболее низких уровней воды в скважинах, либо в начале их подъема.

Гораздо меньше мы знаем об изменении режима и дебита нефтяных скважин, хотя отдельные упоминания в литературе встречаются. В 1970 г. после Дагестанского землетрясения 14 мая, анализируя изменения дебитов нефтяных и газовых скважин



Изменения минерализации, содержания хлоридов, суммы натрия и калия в зумакаентских минеральных водах во время Салатауского землетрясения 1974 г. в Дагестане (по наблюдениям Д. Г. Осмики). Стрелкой показан момент наиболее сильного толчка.

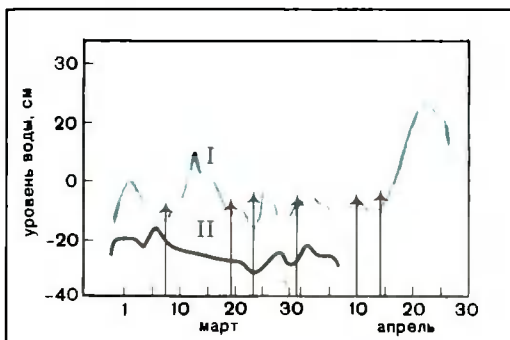
месторождений Ачи-Су, Избербаш и Селли в Южном Дагестане, мы обратили внимание на некоторые характерные черты явления. Практически ни одна скважина не сохраняла постоянным свой дебит в период, предшествовавший сильному тектоническому удару, непосредственно после него, а также при любом более или менее сильном повторном ударе. По-видимому, эти изменения вызваны перепадами давления жидкостей и газов в породах-коллекторах очаговых зон, хотя месторождения отстоят от очагов землетрясений не менее чем на 60—75 км. Кроме того, с динамическими эффектами, обусловленными упругими деформациями в очаговых зонах, по-видимому, связано возобновление выделения газа из отдельных скважин месторождения Ачи-Су, колебания дебита источников минеральных вод на мысе Башлы в 40 км южнее г. Избербаш, изливы

<sup>1</sup> Садовский М. А. и др. — «Доклады АН СССР», 1977, т. 236, № 1, с. 187—195.

нефти из заброшенных скважин месторождения Каякент и т. д.

### СОЛЕВОЙ СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Предположим, что все подземные воды в пределах отдельных геологических структур представляют собой единые гидродинамические системы. В таком случае землетрясения должны сопровождаться не только гидродинамическими ударами, которые мы регистрируем по измене-



Колебания уровня воды в скважинах I и II во время землетрясения на о-ве Кунашир. Каждому толчку (они обозначены стрелками) предшествовало резкое падение уровня воды в скважинах. Непосредственно перед землетрясением уровень стабилизировался или начинал повышаться.

Указанный эффект был использован М. А. Садовским, Ф. И. Монаховым и А. Н. Семеновым для прогноза времени землетрясений на Курильском о-ве Кунашир в 1977 г.

ниям дебитов источников и уровней воды в скважинах, но и изменениями величины минерализации и химического состава вод. Действительно, такие эффекты отмечались в литературе неоднократно. Первые количественные их характеристики были приведены в материалах, касающихся Ташкентских тектонических землетрясений 1966—1967 гг., А. Н. Султанходжаевым и сотрудниками. Вывод об изменении солевого состава подземных вод при тектонических землетрясениях (связанных с подвижками блоков земной коры) подкрепляется и нашими данными, полученными вместе с Д. Г. Осиковой в Дагестане и других районах Кавказа после Дагестанского землетрясения 1970 г. Изучая материалы отчетов о землетрясении, а также исследуя химический состав вод из скважин и минеральных источников, мы обнаружили, что на содержании химических элементов в подземных

водах помимо сейсмической активности района сказываются сезонные колебания температур и количество осадков.

Итак, проблема оказалась не такой простой, как это представлялось нам ранее, поскольку картина зависимости химического состава подземных вод от сейсмичности района оказалась как бы смазанной. В этих условиях лишь единичные показатели, такие, например, как содержание в подземных водах хлоридов, в силу повсеместного их распространения, по-видимому, наиболее точно отражают динамику процессов в очаговых зонах землетрясений и могут быть использованы в качестве прогностических критериев для оценки времени и места готовящейся катастрофы.

Следует указать также на изменение физико-химических свойств подземных вод перед землетрясениями. Например, перед Абаибазарским землетрясением 1972 г. ташкентские гидрогеологи Э. Ариков и С. Эргашев наблюдали колебания концентрации водородных ионов (рН). Указанное явление, по-видимому, обусловлено резким возрастанием содержания  $\text{CO}_2$  в подземных водах и, соответственно, повышением их кислотности.

### РАДИОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ

В период, предшествующий землетрясению, меняется содержание радиоактивных элементов в подземных водах: урана, радона и др. Первые сведения о вариациях содержания этих элементов были получены при Ташкентских землетрясениях 1966—1967 гг. Скачок в концентрации радиоактивных элементов был весьма существенным. Например, содержание урана в водах некоторых скважин и, в первую очередь, скважин в зонах разломов и вблизи от эпицентров землетрясений возросло на порядок (от  $10^{-6}$  до  $10^{-5}$  г/л). В последующем ташкентские гидрогеологи пришли к выводу, что в богатых кислородом водах уран мигрирует более интенсивно, чем другие элементы, и может быть индикатором процессов, протекающих в очаговых зонах землетрясений. Заметим, что увеличение концентрации урана в подземных водах сейсмоактивных зон совпадает с увеличением содержания в них  $\text{CO}_2$  и величины рН.

Наряду с изменением концентрации урана в подземных водах в сейсмоактивных областях меняется и соотношение изотопов урана. Благодаря меньшему атомному весу,  $^{234}\text{U}$  легче попадает в микроско-



пические нарушения в породах, чем  $^{238}\text{U}$ . Из этих нарушений  $^{234}\text{U}$  выщелачивается циркулирующими подземными водами. Кроме того, часть  $^{234}\text{U}$  может попасть в воды в процессе изотопного обмена между жидкой фазой и твердой породой. По-видимому, процессы, протекающие в очаговых зонах землетрясений, существенно стимулируют выщелачивание урана из породы. В результате подземные воды обогащаются изотопом  $^{234}\text{U}$ .

Действительно, в период Ташкентских землетрясений 1966—1967 гг. такие явления наблюдались. При этом соотношения изотопов урана максимально изменялись в водах тех скважин, которые были пробурены вблизи разломов.

О том, что радон, благодаря высокой его мобильности, химической инертности, малому периоду полураспада (3,825 дня), является удобным источником информации о современных тектонических процессах, было известно еще из работ В. В. Чердынцева. Однако на вариации его содержания в подземных водах сейсмоактивных зон впервые обратили внимание только во время Ташкентского землетрясения в апреле 1966 г. Ташкентские сейсмологи и курортологи заметили, что содержание радона в бальнеологических водах в черте Ташкента начало увеличиваться задолго до землетрясения, а в момент землетрясения оно резко упало. Впоследствии аналогичные эффекты были отмечены в минеральных водах других сейсмоактивных зон, например в Прииссыккульской во время Сарыкамышского тектонического землетрясения 1970 г. С тех пор изменение содержания радона принято считать одним из наиболее важных предвестников землетрясений. За вариациями содержания радона наблюдают сейчас во многих сейсмоактивных зонах: на Ташкентском, Восточно-Ферганском и Ленинадском геодинамических полигонах, в Дагестане и др.

#### ИЗОТОПНЫЕ ЭФФЕКТЫ В СЕЙСМОАКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ

Известно, что углерод, входящий в состав углеродистых соединений нефти и газа, представлен не одним, а многими его изотопами. Причем для газа, извлеченного с той или иной глубины, характерно свое соотношение изотопов углерода.

Следует ожидать, что подобное распределение изотопов углерода между отдельными глубинными зонами (своеобразная изотопная зональность) имеет место и в сейсмически активных районах. В таком

случае, при сейсмическом толчке, когда происходит мгновенное выделение части газов из всей толщи пород, лежащих выше очага землетрясения, в области разгрузки газов (источниках, скважинах и т. д.) должен резко меняться изотопный состав углерода.

Впервые этот изотопный эффект был отмечен во время Анапского землетрясения 1966 г. в газах одного из ртутных месторождений на Северном Кавказе. Однако, обнаружив, что изотопный состав углерода меняется, геологи тогда не придали этому большого значения. И лишь позже, в 1970 г. во время тектонического землетрясения в Дагестане, мы попытались оценить масштабы данного изотопного эффекта.

При афтершоках землетрясения (толчках, следующих за основным ударом) энергетический класс которых менялся от 8 до 14, мы многократно определяли изотопный состав углерода в газовых скважинах и обнаружили, что все афтершоки энергетического класса более 10 сопровождалось резким изменением изотопного состава углерода. При этом углерод, входящий в состав метана, обогащался тяжелым изотопом  $^{13}\text{C}$ , а углерод в составе углекислого газа — терял его. Афтершоки более низкого энергетического класса (ниже 10) не сопровождалось изотопным эффектом.

Следует заметить, что при землетрясениях меняется изотопный состав не только углерода, но и других элементов. В пользу этого свидетельствуют вариации содержания тяжелого изотопа водорода — дейтерия, обнаруженные нами в Хибинах и Дагестане. Изотопные эффекты могут быть обнаружены также при систематическом наблюдении за изотопным составом гелия, аргона, неона и т. д. в источниках и скважинах сейсмоактивных областей. Работы в этом направлении сулят, на наш взгляд, много неожиданного. Во всяком случае, изотопные эффекты — это одно из немногих явлений, позволяющих судить о реальных геохимических процессах в очаговой зоне.

#### ГАЗЫ В ВОДАХ ИСТОЧНИКОВ И СКВАЖИН В СЕЙСМИЧЕСКИХ ЗОНАХ

Если артезианская скважина пробурена в сейсмоактивной зоне, то состав растворенных в воде газов и их концентрация постоянно меняются. Эффекты подобного рода были замечены впервые во время Ташкентских землетрясений 1966—1967 гг. Здесь в связи с землетрясениями наблюдались систематические колебания содержа-

ний гелия, аргона, азота, углекислого газа, углеводородов и других газов, растворенных в подземных водах. Более детально вариации содержания природных газов в водах источников и скважин были исследованы нами во время сильного тектонического землетрясения в Дагестане в мае 1970 г. Через 20 дней после основного толчка в приповерхностной атмосфере над эпицентром землетрясения мы обнаружили повышенные концентрации водорода, гелия и углекислого газа. По сравнению со средним содержанием этих газов в атмосфере Земли, водорода и гелия было больше в 20—30 раз, а углекислого газа — в 10 раз. При наиболее сильных афтершоках этого землетрясения в сентябре-октябре 1970 г. в газах из скважин нефтегазового месторождения Миатлы резко возросло содержание углеводородов и углекислого газа.

Аналогичные результаты получены и на Ташкентском геодинамическом полигоне, где начиная с 1972 г. под руководством А. Н. Султанходжаева ведутся систематические наблюдения за газами в водах источников и скважин.

По-видимому, газы являются наиболее чутким индикатором изменения сейсмической активности, поскольку на их составе отражаются даже те сравнительно слабые землетрясения, которые иногда случаются в Хибинах. Во время землетрясений здесь меняется химический состав газов, выделяющихся в виде слабых струй в зонах тектонических нарушений.

Более того, на составе газов сказываются и перемещения масс в земной коре — так называемые лунно-солнечные приливы. По данным известного геохимика А. И. Тугаринова и С. С. Сардарова, наблюдавших за составом газов месторождений Шахмал-Булак в Дагестане, концентрация аргона и гелия в газах зависит от этих приливов. Изменения носят синусоидальный характер, период синусоиды — 0,5 суток. Четкая картина изменения содержания аргона и гелия нарушается удаленными и близкими землетрясениями.

Повышение сейсмической активности сказывается и на составе газов, выделяемых грязевыми вулканами. Многолетние наблюдения в пределах Керченско-Таманской грязевулканической провинции подтверждают этот вывод. В сейсмически активные периоды выделения грязевых вулканов существенно обогащаются углекислым газом, азотом и др. Аналогичные результаты получены и бакинским геологом Ф. Ахметбейли.

В короткой статье невозможно охватить все многообразие геохимических и гидрогеологических эффектов, сопровождающих землетрясения. Да авторы и не ставили перед собой такой задачи. Гораздо важнее решить, какую ценность представляют уже известные геохимические и гидрогеологические эффекты для прогноза землетрясений.

Поиск прогнозных критериев, на наш взгляд, стоит начинать с кропотливых и длительных наблюдений за флуктуациями того или иного геохимического явления в связи с изменением давления, температуры, количества осадков и, возможно, влиянием лунно-солнечных приливов в земной коре. Все это поможет оценить уровень помех и выделить на их фоне вариации интересующего нас геохимического параметра, обусловленные процессами в очагах землетрясений.

#### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Голицын Б. Б. ИЗБРАННЫЕ СОЧИНЕНИЯ, т. 2. М., 1960.

Войтов Г. И., Гречухина Т. Г. и др. О НЕКОТОРЫХ ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЯХ ДАГЕСТАНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 14 МАЯ 1970 Г. — «Доклады АН СССР», 1972, т. 202, № 3.

Хитаров Н. И., Войтов Г. И. и др. ОБ ИЗОТОПНЫХ СДВИГАХ УГЛЕРОДА CO<sub>2</sub> И CH<sub>4</sub> В ГАЗАХ ПОСЛЕ АФТЕРШОКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ. — «Доклады АН СССР», 1972, т. 204, № 5.

Чалов П. И. и др. О ПРОГНОЗЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО ИЗМЕНЕНИЯМ РАДИОИЗОТОПНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОД РАЗЛОМОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ. — «Физика Земли», 1977, № 8.

## АНтропогенные землетрясения в Степном Крыму

М. В. Комарова, Е. С. Штенгелов,  
кандидаты геолого-минералогических наук  
Одесский государственный университет

О том, что наполнение искусственных водоемов может вызвать землетрясения, известно еще с 40-х годов нашего века. Впоследствии стали появляться данные и о других антропогенных землетрясениях, возникающих при нагнетании жидкостей в скважины, добыче нефти и газа и т. п.<sup>1</sup>

За последние годы в Степном Крыму, считавшемся ранее несейсмичным, было зарегистрировано несколько подземных толчков. Крым отчетливо делится на горную и равнинную части. Горный Крым — молодое складчатое сооружение, появившееся во время последнего в истории Земли альпийского горообразования. Одно из проявлений продолжающихся в его недрах тектонических процессов — сейсмичность. Эпицентры землетрясений образуют поле, вытянутое вдоль южного склона Крымских гор, преимущественно на акватории Черного моря. Фундамент Степного Крыма образовался значительно раньше, преимущественно в конце палеозоя и начале мезозоя. Начиная с мелового периода, здесь установился относительно спокойный тектонический режим платформенного типа.

7 августа 1975 г. сейсмографы Института геофизики АН УССР зафиксировали первое тектоническое землетрясение в Степном Крыму. Его очаг находится на глубине 30—40 км, в 35 км севернее Симферополя, в долине Салгира. Магнитуда толчка — около 3. В ноябре 1977 г. был отмечен слабый



Эпицентры землетрясений в Степном Крыму.

подземный толчок еще севернее, в районе пос. Войково. В августе 1978 г. произошли сразу два землетрясения, на этот раз к юго-западу от пос. Новоселовское. Имеются причины, заставляющие отнести к этим сейсмическим толчкам с особым вниманием.

Степной Крым — засушливый район, где издавна используют подземные воды. В последние годы уровень их начал снижаться, а соленость воды повышаться. Поэтому возникла необходимость пополнить запасы вод. После нескольких пробных наливов воды в водоносные горизонты, проведенных в конце 60-х и начале 70-х годов, здесь в 1975 г. под землю в бассейн, вскрывший проницаемые неогеновые известняки, было залито несколько десятков тысяч кубометров пресной воды.

Землетрясение 1975 г., первое и наиболее сильное из зарегистрированных в Степном Крыму, произошло в тот период, когда уровень подземных вод в наблюдательных скважинах вблизи бассейна поднялся на 5—12 м. Эпицентр землетрясения располагался в 10 км к югу от бассейна. Следует, однако, иметь в виду, что координаты эпицентров землетрясений в

Степном Крыму определяли по средним скоростям распространения упругих волн в земной коре Горного Крыма. Как показывают результаты глубинного сейсмического зондирования, эти скорости в Степном Крыму на 15—20% больше. Таким образом, очаги этих землетрясений Степного Крыма расположены, очевидно, несколько севернее, а очаг толчка 1975 г. находится, видимо, рядом с бассейном.

Первые сведения, что искусственное увеличение уровня подземных вод может вызвать землетрясения, появились в 60-х годах нашего века. Примерно через месяц после того, как начали нагнетать воду в скважину, пробуренную вблизи Денвера в США, объем залитой в скважину воды составил 20 тыс. км<sup>3</sup>, в этом районе, считавшемся ранее несейсмичным, произошло несколько землетрясений. Последнее землетрясение близ Денвера произошло через десять лет после прекращения закачки воды. Подобные явления наблюдались и в других районах мира.

Все землетрясения, отмеченные там, где воду закачивали под землю, имеют параметры, характерные для обычных тектонических землетрясений. Поэтому большинство специалистов считают, что искусственное увеличение напоров в подземных водоносных горизонтах — не причина, а тот дополнительный импульс, который «помогает» сейсмическому разрыву в недрах.

Возможная связь землетрясений в Степном Крыму с опытным наливом воды представляет несомненный интерес, поскольку работы по искусственному пополнению запасов подземных вод будут в будущем продолжены не только в этом районе, но и в других районах нашей страны.

<sup>1</sup> Николаев Н. И. Искусственные землетрясения. — «Природа», 1973, № 7.

## Этика научного исследования

Б. Г. Юдин



Борис Григорьевич Юдин, кандидат философских наук, старший научный сотрудник сектора истории науки и логики Института истории естествознания и техники АН СССР. Занимается философскими проблемами науки. Автор книг: Понятие целостности и его роль в научном познании. М., 1972 (совместно с И. В. Блаубергом); НТР и особенности современного научного познания. М., 1977 (совместно с А. П. Огурцовым и А. П. Разумовым); Наука и мир человека. М., 1978 (совместно с Э. Г. Юдиным); Методологический анализ науки. М., 1980 (совместно с В. С. Швыревым).

Интерес к этическим проблемам науки возник, конечно, отнюдь не сегодня; в последнее десятилетие, однако, эта область изучения науки предстала в совершенно новом свете. Помимо того, что резко возросло количество исследований по этике науки и расширилась ее проблематика, весьма примечательные сдвиги произошли и в самом подходе к этическим вопросам науки, и в характере их обсуждения.

Дело в том, что вплоть до середины нашего столетия проблемы этики научного познания, вообще говоря, не были объектом систематического изучения; их обсуждение носило какой-то оттенок необязательности, порой сбивалось в морализирование и потому нередко представлялось плодом досужих «рассуждений по поводу». Такие рассуждения могли быть ярким выражением гуманистического пафоса, но они, как правило, мало соотносились с реальной практикой научных исследований. Этические вопросы и этические оценки касались науки в целом, а потому не могли оказывать прямого влияния на деятельность конкретного исследователя, на формирование и направленность его научных интересов. Было бы, впрочем, ошибкой считать, что они не имели значения — их роль в процессе становления современной науки несомненна. Ведь в ходе этого процесса

наука должна была, помимо всего прочего, получить моральную санкцию — обоснование и оправдание перед лицом культуры и общества, поскольку ей необходимо было определиться как особому социальному институту и как специфической сфере деятельности.

Еще Сократ утверждал, что человек поступает дурно лишь по неведению и что, познав, в чем состоит добродетель, он всегда будет стремиться к ней. Тем самым знание признавалось в качестве условия — и притом условия необходимого — для добродетельной жизни; но вместе с тем и само искание знания оказывалось деятельностью безусловно благой. В последующем развитии мысли выдвигались различные трактовки того, что именно есть знание и чем должен направляться процесс познания, могли меняться те практические акценты, с которыми связывалось обладание знанием, истиной (вспомним хотя бы бэконовское «знание — сила») — неизменной оставалась эта безусловно необходимая благодать истины. Пожалуй, наиболее яркое выражение такая оценка знания нашла у просветителей, которые прямо связывали все человеческие и общественные пороки с невежеством и видели в искоренении невежества первейшее и достаточное условие для создания идеального социального устройства.

Формирование науки в новое время было обусловлено взаимным действием множества факторов и причин, и мы не можем здесь вдаваться в их обсуждение. Отметим только: далеко не последнюю роль в этом процессе сыграло то, что научное познание все более утверждалось как морально одобряемый род деятельности. И сегодня, когда социальные функции науки быстро умножаются и разнообразятся, когда непрерывно увеличивается число каналов, связывающих науку с жизнью общества, обсуждение этических проблем науки остается одной из важных форм рефлексии относительно науки, одним из способов выявления и анализа ее изменяющихся социальных и ценностных характеристик. Однако ныне попытки дать недифференцированную, суммарную этическую оценку науке как целому оказываются — независимо от того, какой бывает эта оценка, положительной или отрицательной, — все менее достаточными и конструктивными. Те стадии развития науки и социально-культурного развития, когда можно было оспаривать необходимость самого существования науки как социального института, ушли в прошлое.

Из сказанного отнюдь не следует, что наука больше вообще не может быть объектом этической оценки, что единственная оставшаяся перед нами перспектива — это слепо поклоняться научно-техническому прогрессу, по возможности адаптируясь к его многообразным и не всегда благоприятным последствиям. Вопрос в том, что такая оценка должна быть более дифференцированной, относящейся не к науке в целом, но к отдельным направлениям и областям научного познания. Именно здесь этические суждения ученых и общественности не только могут играть, но действительно играют серьезную и конструктивную роль.

Обратимся в этом контексте к нескольким достаточно хорошо известным эпизодам современной истории. Первый из них — американские ядерные взрывы над японскими городами. В этом случае, увы, чувство социальной ответственности ученых и их протесты были бессильны предотвратить катастрофу; однако случившееся оказалось серьезным уроком, продемонстрировавшим, что научная деятельность становится все более тесно связанной не только с благополучием, но и с самим существованием человечества. Осознание этой связи явилось мощным стимулом,

пробудившим общественно-политическую активность многих ученых и приведшим к возникновению таких форм их общественной деятельности, как, например, Пагуошское движение. В результате, как писал В. Вайскопф, «многие ученые, занимающиеся фундаментальной наукой, внесли важный вклад в решение проблемы контроля за вооружением. Их деятельность дала начало дискуссиям, приведшим к прекращению испытания атомных бомб»<sup>1</sup>. И, как мы знаем, дело не ограничивалось дискуссиями — вопрос о неблагоприятных последствиях проводившихся ядерных испытаний подвергся всестороннему научному изучению. Не менее существенно и то, что отныне вопросы о воздействии научных открытий на жизнь общества, о социальных последствиях научно-технического прогресса становятся объектом постоянного и пристального внимания ученых.

Следующий эпизод — экологическое движение, возникающее в 60-е годы, когда в общественном сознании пробуждается беспокойство в связи с растущим загрязнением среды обитания и истощением естественных ресурсов планеты. Нам сейчас важно отметить, что именно социальная ответственность ученых явилась тем исходным импульсом, который заставил сначала их, а затем и общественное мнение осознать серьезность экологической ситуации. В отличие от предыдущего примера в этом случае ответственное отношение ученых заявило о себе еще до того, как положение дел — если его рассматривать в целом — стало непоправимым. Кроме того, если в первом случае непосредственно вовлеченными в трагическое развитие событий оказались представители лишь некоторых областей физики, то экологическое движение оказалось по сути дела общенаучным, затронувшим представителей самых разных разделов естественных, общественных и технических наук. Примечательно также и то, что, как видим сегодня, ученые вовлечены в экологическое движение не только своими общественными, но и сугубо профессиональными, собственно научными интересами. Достаточно напомнить в этой связи, что разнообразным сторонам проблемы «человек и среда его обитания» посвящена внушительная доля современных научных исследований, причем не только прикладного, но и фундаментального ха-

<sup>1</sup> Вайскопф В. Физика в двадцатом столетии. М., 1977, с. 252.

рактера. Социальная ответственность ученых, как мы видим, оказывается не таким уж внешним фактором по отношению к тенденциям развития науки, отдельных дисциплин и исследовательских направлений.

Отметим, наконец, еще один эпизод. Уже в 70-е годы широкий резонанс вызвали результаты и перспективы биомедицинских и генетических исследований. Гуманитарно-национальным моментом стал призыв группы молекулярных биологов и генетиков во главе с П. Бергом к установлению добровольного моратория на такие эксперименты в области геной инженерии, которые могут представлять потенциальную опасность для генетической конституции живущих ныне организмов<sup>2</sup>. В дискуссиях по этим вопросам предметом обсуждения стали этические нормы и регулятивы, которые могли бы оказывать воздействие как на направленность, так и на сам процесс исследования. Мы не будем вдаваться в подробности этих дискуссий и обсуждать их результаты — нам достаточно констатировать тот факт, что такого рода дискуссии представляют собой неотъемлемую черту жизни современной науки.

Рассмотренные эпизоды — а число их нетрудно было бы умножить — показывают эволюцию этических проблем науки, которые становятся более конкретными и более резко очерченными; они показывают также, что этическое самосознание ученого — это не какой-то обязательный добавок к его профессиональной деятельности, а один из составных элементов этой деятельности (хотя, конечно, этот элемент далеко не всегда выступает в осознанной форме). В то же время мы можем заметить, что проблемы этики науки не только конкретизируются, но и в определенном смысле универсализируются — они возникают в самых разных сферах научного познания, так что едва ли можно считать, что какая-либо область науки в принципе и на все времена гарантирована от столкновения с этими далеко не простыми проблемами. Известно ведь, что фунда-

ментальные научные открытия непредсказуемы, а спектр их потенциальных приложений бывает чрезвычайно широким. Уже в силу одного этого мы не можем говорить о том, что этические проблемы являются достоянием лишь некоторых отдельных областей науки, что их возникновение есть нечто исключительное и преходящее.

Было бы, конечно, заманчиво решить эти проблемы раз и навсегда, разработав, например, некий всеобщий кодекс научной этики. Известно, что такого рода проекты сейчас предлагаются и обсуждаются. Сами по себе эти усилия весьма примечательны, поскольку они отражают растущее чувство социальной ответственности ученых. Однако, как показывает практика, своеобразии конкретных ситуаций, в которых перед учеными возникает этические проблемы, настолько значительно, что здесь едва ли возможен единый свод готовых решений. (То же самое, впрочем, относится не только к науке — никогда еще в истории не было таких универсальных кодексов поведения, которые бы освобождали человека от необходимости самому делать моральный выбор в разнообразных жизненных ситуациях и от ответственности за этот выбор.) К сказанному стоит еще добавить, что сам прогресс науки расширяет диапазон таких проблемных ситуаций, в которых нравственный опыт, накопленный человечеством, оказывается недостаточным. Вспомним, с какой остротой встал вопрос об определении момента смерти донора в связи с экспериментами по пересадке сердца; ныне, под воздействием экспериментов с человеческими эмбрионами, столь же остро встает вопрос о том, с какого момента эмбрионального (или же постэмбрионального) развития развивающееся существо следует считать ребенком со всеми вытекающими из этого последствиями.

Можно, однако, подойти к этическим проблемам науки и иначе, имея в виду не учреждение всеобщего кодекса, а описание и анализ всего того, что связано с возникновением и решением этих проблем в конкретных ситуациях. Изучение этого эмпирического материала позволит делать какие-то обобщения, отделять то, что характерно для данной конкретной ситуации и для данной конкретной области научного знания от того, что имеет более широкий смысл, выявлять взаимосвязи и закономерности и т. п. — короче, подойти к этой проблематике так, как обычно это делается в науке. Именно на таком пути

<sup>2</sup> См. в этой связи, напр.: Б а в а А. А. Генетическая инженерия; Ф р о л о в И. Т. Социально-этические проблемы генетической инженерии. — «Природа», 1976, № 1. Широкий круг этических проблем, возникающих в ходе современных биомедицинских исследований, рассматривается в книгах: Etzioni A. Genetic Fix. N.-Y.—L., 1973; Fletcher T. The Ethics of Genetic Control. N.-Y., 1974. См. также: Ю д и н Б. Г. Рубежи генетики и проблемы этики. — «Вопросы философии», 1975, № 10.



происходит формирование этики науки как специфической научной дисциплины.

Иначе говоря, рассматриваемая в качестве научной дисциплины, этика науки не может ставить своей целью выработку пригодных для любого частного случая предписаний — ведь при этом она претендовала бы на то, чтобы решать за ученого те этические проблемы, с которыми он сталкивается. По нашему мнению, она должна быть дисциплиной прежде всего рефлексивного плана; ее исходная задача — это не столько решение, сколько выявление и четкая постановка этических проблем и противоречий, возникающих в научной деятельности, обнаружение социальных истоков и корней этих проблем, не столько предписывание ученому тех или иных стандартов поведения, сколько критический анализ и обоснование этических норм, которыми реально руководствуются ученые. В конечном счете, речь идет об исследовании этического содержания, пусть и не всегда выступающего в явном виде, но так или иначе наличествующего в научной деятельности.

В этом отношении этика науки сходна с методологией науки, которая давно уже отказалась от претензий на то, чтобы давать рецепты для желающих делать открытия, и ограничивает себя анализом и обоснованием методов и процедур, применяемых в науке, а также тех, подчас далеко не очевидных, предпосылок, которые лежат в основе той или иной теории, того или иного научного направления, той или иной стадии развития научного знания. Изучение (но опять-таки не изобретение и не предписывание!) норм научной деятельности — таких, как исторически изменяющиеся стандарты доказательности и обоснованности знания, образцы и парадигмы, на которые ориентируются ученые — является одной из ведущих, если не самой ведущей темой современной методологии науки. Нормативная структура научной деятельности, рассмотренная, разумеется, под специфическим углом зрения, представляет собой объект изучения и в этике науки. Как отмечает в этой связи норвежский ученый Г. Скирбекк, «будучи деятельностью, направленной на поиск истины, наука регулируется нормами: «ищи истину», «избегай бессмыслицы», «выражайся ясно», «ищи интересные гипотезы», «старайся проверять свои гипотезы как можно более основательно» — примерно так выглядят формулировки этих внутренних норм науки». Следовательно, продолжает Скирбекк, этика в этом смысле предполага-

ется в науке, и отношения между наукой и этикой не ограничиваются вопросом о хороших или плохих применениях научных результатов<sup>3</sup>.

Намеченная нами параллель между методологией и этикой науки может быть продолжена. Отметим прежде всего, что в обеих сферах исследования определяющее значение имеет вопрос о том, как именно понимается наука, каков, если воспользоваться удачным выражением А. П. Огурцова, «образ науки»<sup>4</sup>, на который явно или неявно опирается тот или иной исследователь этих проблем. Если, например, наука рассматривается только как сложившаяся к данному моменту времени система соответствующим образом обоснованных знаний, то тем самым задается и достаточно определенный план трактовки как методологических, так и этических проблем, а вместе с тем и круг вопросов, которые можно осмысленно ставить и обсуждать.

При таком понимании науки ученый выступает лишь как безликий агент, через посредство которого действует объективная логика развития науки. Этот агент — познающий субъект — осуществляет познавательное отношение к действительности, что предполагает с его стороны «чистое», совершенно незаинтересованное и бесстрастное изучение познаваемого объекта. Подобное истолкование науки позволяет, конечно, решать определенный круг познавательных и методологических проблем, но круг этот отнюдь не безграничен; дело в том, что понятие «чистого» познавательного отношения, на которое опирается такая трактовка науки и научного познания, является методологической абстракцией и, как всякая абстракция, может давать лишь одностороннее представление о рассматриваемом при ее помощи объекте. Смысл же этой абстракции состоит в том, что она позволяет при анализе познавательной деятельности отвлечься от ценностных, и в том числе от этических моментов этой деятельности. Благодаря этому мы получаем относительно чистую и упрощенную картину науки, которую можно сравнить с проекцией объемной фигуры на плоскость. (И. Лакатос в подобных случаях применял более резкое выражение — он

<sup>3</sup> «Encyclopaedia moderna», 1975, № 30/1, s. 34.

<sup>4</sup> См.: Огурцов А. П. Образы науки в буржуазном общественном сознании. — В сб. Философия в современном мире. Философия и наука. М., 1972.

говорил о том, что рациональные реконструкции истории науки часто являются карикатурой реальной истории науки.) Но отождествлять эту проекцию с самой фигурой может лишь тот, кто знает науку только по гладкому изложению в учебнике или по сухим формулам современной научной статьи.

Если, однако, абстракция познавательного отношения начинает применяться за пределами сферы своей обоснованности, если эта абстракция фактически мыслится как *differentia specifica* научного познания мира — что характерно, например, для неопозитивистских трактовок науки, — то мы, естественно, лишаемся основания апеллировать при рассмотрении науки к нравственным критериям. Как отмечал югославский ученый И. Супек, выступая на 22-й встрече ученых, участвующих в Пагуошском движении, в ходе которой обсуждалась тема «наука и этика»: «Если с самого начала мы будем рассматривать науку как нечто отличное от этики, то все попытки построить мосты над этой пропастью будут напрасными»<sup>5</sup>. Очевидно, что при таком понимании науки вопрос о социальной ответственности ученого в значительной степени элиминируется — место социальной ответственности занимает объективная логика развития науки, т. е. развертывания безличного познавательного отношения. Эта логика — которая, заметим, на деле всегда реконструируется задним числом, — оказывается неким неумолимым и слепым механизмом, однозначно детерминирующим познавательную деятельность ученого; на нее, а не на него, в таком случае возлагается и вся социальная ответственность.

Сказанное не следует понимать как отрицание того, что процесс развития науки обладает своей внутренней логикой или что получение объективного знания о мире является одной из главных ценностей, ориентирующих познавательную деятельность ученого. Речь идет о том, что эта логика реализуется не вне ученого, не где-то над ним, а именно в его деятельности. Каждое значительное научное достижение, как правило, открывает целый спектр новых путей исследования, о которых до него едва ли можно было догадываться. Стало быть, логика развития науки не так прямолинейна и очевидна и уж во всяком случае она не является однозначной. Она задает предпосылки и условия протекания

творческой деятельности ученого, но никоим образом не отменяет последней. В конце концов, научное знание порождается не самой по себе абстракцией «познавательного отношения», а вполне конкретной научной деятельностью, которую осуществляют реальные исследователи и исследовательские коллективы. А эта деятельность, будучи деятельностью человеческой, является тем самым и объектом этической оценки.

Таким образом, дилемма «объективная логика развития науки или социальная ответственность ученого» оказывается некорректно поставленной — ни один из членов этой оппозиции не отменяет другого. Аргументы, с помощью которых они противопоставляются друг другу и на место социальной ответственности ставится объективная логика, при всей их видимой естественности опираются не столько на само по себе действительное положение дел, сколько на определенное — и притом, как мы видели, одностороннее — истолкование науки и научного познания. Но тем самым теряют убедительность и основанные на этой оппозиции расхожие доводы такого, например, характера: «Если этого не сделаю я, то сделаю кто-то другой». Ведь если все-таки это сделаю я, то именно я (а не объективная логика и не кто-то другой) буду и ответственным за это. Характерно, кстати, что подобные доводы едва ли будут сочтены оправданием в том случае, когда речь идет об ошибках в методике проведения эксперимента или в доказательстве. Конечно же, всегда существует возможность ошибок; это, однако, не освобождает от критики того, кто совершает ошибку.

Наряду с только что рассмотренной, в современных дискуссиях по этике науки часто встречается и другая дилемма. В этом случае место объективной логики занимают столь же анонимные социальные силы. Утверждается, что наука сама по себе этически нейтральна, а антигуманное использование ее достижений целиком и полностью обусловлено теми социальными силами, которые контролируют практическое применение результатов научных исследований. (Интересно отметить, что в тех случаях, когда речь идет о позитивных последствиях использования научных достижений, проводить такую линию рассуждений частенько забывают — здесь-то уже ответственной оказывается именно наука и только наука.) Конечно, в значительной мере эта аргументация справедлива — однако и в этом случае, на наш взгляд, вопрос о

<sup>5</sup> «Encyclopaedia moderna», 1975, № 30/1, s. 19.

социальной ответственности науки и ученого нельзя сбрасывать со счетов.

Обратимся к конкретному примеру. В конце 1978 г. в печати сообщалось о том, что в Англии родился первый в мире «пробирочный» ребенок. Процесс оплодотворения был совершен в пробирке, а затем начавший развиваться зародыш был имплантирован женщине, которая из-за физического дефекта не могла иметь естественной беременности. Насколько известно, зачатая в пробирке девочка пока развивается нормально, и группу английских ученых, проводящих этот эксперимент, можно было бы поздравить с удачным результатом их многолетней работы. Тем не менее, однако, на протяжении многих лет это исследование сопровождалось острыми дискуссиями по связанным с ним этическим проблемам, по вопросам о том, насколько этически оправданы цели и методы проведения таких экспериментов. Дискуссии не утихли и сегодня. Достаточно представить себе, например, в каком сложном и щекотливом положении окажутся исследователи, если с течением времени у ребенка вдруг обнаружатся какие-либо серьезные дефекты или расстройства, связанные со столь необычным ходом его эмбрионального развития.

Одна из наиболее напряженных дискуссий в связи с этими экспериментами состоялась в 1972 г. в Париже на конференции «Последние достижения биологии и медицины: их социальные и этические последствия», проведенной Советом международных организаций медицинских наук под эгидой Всемирной организации здравоохранения и ЮНЕСКО. С докладом о проводимых им и его коллегами экспериментах такого рода выступил английский биолог Р. Остин — сотрудник той же группы, которая осуществила успешный эксперимент. Мы не будем разбирать все доводы, выдвинутые Остином и его многочисленными оппонентами, остановимся лишь на одной линии в аргументации Остина. По его мнению, опасности злоупотребления научными достижениями исходят не от науки, а от эксплуатации науки промышленностью, ориентирующейся на получение прибыли. Поэтому ни наука в целом, ни отдельные ученые не несут ответственности за негативные последствия своей работы и не должны руководствоваться в ней этическими соображениями. Эти соображения затрагивают не сферу исследований, а сферу приложений науки.

Верно, конечно, что эксплуатация науки в погоне за прибылью, так же как

и использование науки в интересах милитаристских кругов, определяются не самой наукой, а господствующей в буржуазном обществе системой социально-экономических и политических отношений. Но из этого отнюдь не следует, что с ученого снимается всякая ответственность за то, каким образом и кому служат результаты его исследований. Ведь в конце концов сам Остин живет и работает именно в таком обществе, и сам он отлично понимает, какие социальные силы могут воспользоваться результатами его научной работы. И в этих условиях отрицание ответственности науки перед обществом, как и личной ответственности ученого, фактически оборачивается пособничеством этим силам. Тот, кто отказывается рассматривать вопрос о социальной ответственности, ссылаясь на действие анонимных социальных сил, не в состоянии тем самым переложить бремя нравственного выбора и ответственности за выбор на эти силы — ведь самим своим отказом он уже производит выбор, и этот акт выбора и подлежит этической оценке. В конечном счете, каждый новый научный результат — независимо от того, какое практическое применение он получает — представляет собой индивидуальный вклад конкретного ученого, вклад конкретного коллектива, да и сами социальные силы действуют через посредство конкретных людей.

Здесь полезно будет вспомнить о том, что Нюрнбергский трибунал, как известно, признал ответственными тех врачей и ученых, которые проводили бесчеловечные эксперименты над узниками гитлеровских концлагерей. Не освободило их от ответственности и то, что они называли себя только орудием в руках нацистского режима. Разумеется, в данном случае речь шла о юридической, а не моральной ответственности — но значит ли это, что их эксперименты были этически нейтральными? Игнорировать этот горький опыт сегодня, когда научные достижения оказывают столь значительное воздействие на судьбы человечества, в лучшем случае легкомысленно.

Образ науки, лежащий в основе аргументации того типа, которую проводит Остин, во многом, по-видимому, сходен с рассмотренным нами ранее. И при таком подходе познавательный момент в научной деятельности обособляется от ценностно-этических моментов и противопоставляется им, хотя здесь больше подчеркивается инструментальная, прагматическая сторона научного знания. Результа-

том же — если эту линию рассуждений провести последовательно — оказывается, что научная деятельность выступает как деятельность несамостоятельная, служебная, вторичная; что касается ученого, то в этой картине он не может быть ответственной и суверенной в своих действиях личностью, а превращается в интеллектуальное орудие — в функционера и пособника социальных сил. Впрочем, до такого вывода сторонники этой позиции обычно не доходят, поскольку он вступает в очевидное противоречие не только с внешней, но и с внутренней этикой науки. Действительно, статус и авторитет ученого в пределах научного сообщества определяется, прежде всего, именно его личным вкладом в развитие той или иной научной дисциплины — он, таким образом, оказывается ответственным за то, что им сделано. И, как хорошо известно, эта норма является мощным стимулом в деятельности ученого.

Итак, мы можем сделать вывод, что и в позиции «социальные силы или ответственность ученого» оба ее члена не исключают друг друга. И в этом случае их резкое противопоставление опирается на вполне определенное — и опять-таки одностороннее — истолкование науки и научного познания. Говоря об этом, необходимо подчеркнуть, что мы не имеем ни оснований, ни намерения абсолютизировать или считать всемогущим чувство социальной ответственности ученых — ведь такая абсолютизация была бы чревата той же самой односторонностью. Речь идет лишь о том, чтобы показать, что социальная ответственность представляет собой одну из внутренних, истинных реалий мира науки, а тем самым методологически обосновать возможность этики науки как специфической научной дисциплины.

Остановимся, наконец, еще на одной проблеме, оживленно обсуждаемой в дискуссиях по этике науки. В этих дискуссиях нередко высказывается мнение о том, что вопрос о социальной ответственности касается только прикладных исследований и не распространяется на исследования фундаментальные. Доводы, приводимые в пользу такой точки зрения, сводятся к тому, что, во-первых, результаты, а тем более возможные области практического приложения фундаментальных исследований, непредсказуемы, и, во-вторых, всякое вмешательство, затрагивающее их направление и методы, нарушает принцип свободы исследования.

Что можно было бы сказать в этой связи? Действительно, результаты и прило-

жения фундаментальных исследований, как правило, непредсказуемы. Тем не менее, мы с большой долей уверенности можем предполагать, что результаты сегодняшних фундаментальных исследований довольно быстро найдут самые разнообразные применения и не обязательно эти применения будут лишены негативных сторон. И хотя можно не знать, каковы именно будут практические последствия того или иного открытия, нужно хотя бы стремиться предвидеть, что принесет человеку и обществу то или иное открытие, не снимать с себя ответственности за его дальнейшую судьбу. Ведь при наличии такого стремления больше шансов вовремя распознать возможные нежелательные эффекты.

Что касается вопроса о свободе исследования, то здесь прежде всего следует отметить следующее. Хорошо известно, что современные фундаментальные исследования, как правило, требуют совместного труда больших научных коллективов и сопряжены с внушительными материальными затратами. Уже одно это — хотим мы того или не хотим — накладывает неизбежные ограничения на свободу исследования. Но не менее существенно и то, что нынешняя наука — вполне сформировавшийся и достаточно зрелый социальный институт, оказывающий серьезное воздействие на жизнь общества. Поэтому идея неограниченной свободы исследования, бывшая прогрессивной в те времена, когда наука боролась против всецелия теологии, ныне уже не может приниматься безоговорочно, без учета той социальной ответственности, с которой должна быть неразрывно связана эта свобода. Есть ведь ответственная свобода и есть сильно отличающаяся от нее свободная безответственность...

Еще одно принципиальное обстоятельство. Само противопоставление свободы исследования как требования, идущего изнутри научной деятельности, и социальной ответственности как того, что налагается на эту деятельность извне, опять же опирается на чрезмерно узкое понимание научной деятельности, ее мотивов и способов ее осуществления. Конечно, нельзя не согласиться с тем, что наука есть искание истины; но это именно искание, процесс, требующий усилий, а не созерцание где-то вне мира бытующей истины. Потому и путь к истине есть научная, но вместе с тем и человеческая деятельность, которую осуществляет человек как целое, а не те или иные абстрагированные от него способности или интересы.

## Николай Васильевич Цицин



17 июля 1980 г. умер академик Николай Васильевич Цицин, выдающийся советский ученый и организатор науки, член редколлегии нашего журнала с 1954 г.

Н. В. Цицин родился 6 (18) декабря 1898 г. в Саратове. Рано потеряв отца, он с детских лет познал тяжелый труд и лишения. Уже в первые дни Советской власти Н. В. Цицин оказался в гуще революционных событий. В 1917—1920 гг. он работает политкомиссаром связи сначала в родном городе, а затем на Восточном фронте.

Молодой республике нужны были специалисты, и Н. В. Цицин в 1920 г. поступает на рабфак, а в 1923 г. становится студентом Саратовского государственного института сельского хозяйства и мелиорации. После успешного окончания института

в 1927 г. Н. В. Цицин начинает работать на Саратовской сельскохозяйственной опытной станции. Именно тогда определились научные интересы молодого ученого — в эти годы на станции работали многие известные селекционеры, общение с которыми и привело Н. В. Цицина к проблемам отдаленной гибридизации, ставшей делом всей его жизни.

Уже в 1930 г. им были получены первые гибридные зерна от скрещивания пшеницы Лютесценс-62 с пыреем сизым. Эти работы были продолжены в Омске на зональной опытной станции. К 1934 г. Н. В. Цициным были созданы уникальные плодовые межродовые гибриды. В 1936 г. ему была присуждена степень доктора сельскохозяйственных наук без защиты диссертации.

ции. В 1937 г. опытная станция была реорганизована в Сибирский научно-исследовательский институт зернового хозяйства, который возглавил Н. В. Цицин.

В 1938 г. Н. В. Цицин был избран академиком ВАСХНИЛ и ее вице-президентом (оставался им до 1948 г.), а в 1939 г. — действительным членом Академии наук СССР. В эти годы Н. В. Цицин проводил не только большую научную работу (сначала на Экспериментальной базе АН СССР «Горки Ленинские», а затем в Институте зернового хозяйства Нечерноземной полосы), но и огромную организационную работу: возглавлял крупные научные учреждения, руководил комиссией по сортоиспытанию, был одним из организаторов Всесоюзной сельскохозяйственной выставки и ее первым директором (с 1939 по 1959 г., до открытия Выставки достижений народного хозяйства). С начала организации Главного ботанического сада АН СССР в 1945 г. Н. В. Цицин — бессменный его директор. Под его руководством Главный ботанический сад стал крупным научным учреждением, которое не только располагает богатейшими коллекциями растений, но и решает фундаментальные вопросы экспериментальной ботаники.

В 1952 г. по инициативе Н. В. Цицина был организован Совет ботанических садов СССР — орган, координирующий деятельность всех ботанических садов страны; председателем Совета Н. В. Цицин оставался долгие годы.

Значительный вклад Н. В. Цицин внес в развитие теории и практики отдаленной гибридизации. Открытые им закономерности формообразования у отдаленных гибридов имеют большое значение для понимания роли отдаленной гибридизации в процессах эволюции растений.

Н. В. Цицин первым получил ряд межродовых гибридов, таких как пшенично-пырейные, пшенично-элимусные, ржано-пырейные. Созданный им новый 56-хромосомный вид пшеницы выдерживает две-три зимовки. Создание сортов многолетней

пшеницы — факт сам по себе выдающийся. Многолетние зернокарманные 56-хромосомные пшеницы стали новой для сельского хозяйства урожайной кормовой культурой.

Чрезвычайно интересны работы Н. В. Цицина по селекции пшенично-ржаных гибридов типа тритикале. Созданы перспективные сорта тетраплоидной ржи, получены гибриды ржи и пырея, которые по своим хлебопекарным свойствам приближаются к пшенице.

Круг интересов Н. В. Цицина как биолога-естествоиспытателя необыкновенно широк. Помимо разработки вопросов отдаленной гибридизации и селекции растений, он внес большой вклад в развитие теории интродукции и акклиматизации, ресурсоведения, охраны природы.

Работы Н. В. Цицина получили большой международный резонанс. В 1969 г. Н. В. Цицин был избран президентом Международной ассоциации ботанических садов — центра международного сотрудничества ботаников; он был президентом XIV Международного генетического конгресса (1978 г.), почетным членом Румынской и Венгерской академий наук, почетным членом Югославской академии наук и искусств в Загребе, почетным доктором Йенского университета (ГДР) и Высшей школы сельскохозяйственных наук и садоводства в г. Брно (ЧССР).

Советское правительство высоко оценило заслуги Н. В. Цицина: он дважды Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и Государственной премий СССР, кавалер семи орденов Ленина, орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени, многих медалей СССР, а также орденов и медалей иностранных государств.

Николай Васильевич Цицин остался в нашей памяти как человек, проживший большую и творческую жизнь, самоотверженно отдавший себя служению науке и людям.

**Редакционная коллегия.**



## Космические исследования

**Шестой международный экипаж на «Салюте-6»**

23 июля 1980 г. в 21 ч. 33 мин. по московскому времени в Советском Союзе был осуществлен запуск транспортного космического корабля «Союз-37», пилотируемого международным экипажем в составе командира корабля летчика-космонавта СССР В. В. Горбатко и космонавта-исследователя гражданина Социалистической Республики Вьетнам Фам Туана.

Причаливание корабля к станции осуществилось на 18-й минуте полета, и 24 июля произошла стыковка «Союза-37» с орбитальной станцией «Салют-6». На следующий день в 2 ч. 15 мин. экипаж «Союза-37» перешел в помещение станции «Салют-6» — с этого момента в околоземном космическом пространстве на борту пилотируемого научно-исследовательского комплекса «Салют-6» — «Союз-36» — «Союз-37» приступил к работе международный экипаж в составе космонавтов Л. И. Попова, В. В. Рюмина, В. В. Горбатко и Фам Туана.

В программу работ международного экипажа входили медико-биологические, физико-технические и технологические эксперименты, а также исследования и эксперименты по изучению атмосферы и природных ресурсов Земли. Первым был начат эксперимент «Азола», цель которого — изучить влияние невесомости на процессы роста и развития, а также морфологическую структуру высших растений. В этих целях в качестве объекта исследований вьетнамские ученые предложили водный папоротник ввиду его уникальных свойств. Небольшие его размеры (длина взрослого растения, имеющего вид вытянутого диска, 3 мм) позволяет в приборе, который раньше использовался для вы-



Экипаж космического корабля «Союз-37»: командир корабля летчик-космонавт СССР В. В. Горбатко (справа) и космонавт-исследователь гражданин Социалистической Республики Вьетнам Фам Туан.

Фото ТАСС.

ращивания водорослей в невесомости, разместить 10—20 растений и благодаря этому получить достоверные данные. К тому же водный папоротник исключительно быстро размножается, так что в течение полета можно наблюдать полную смену поколений. Еще одна интересная особенность этого растения состоит в том, что в его воздушных лазухах живет и размножается синезеленая микроскопическая водоросль, способная усваивать атмосферный азот и превращать его в азотсодержащие соединения, пригодные для питания растений. Благодаря этому водный папоротник, размножающийся на рисовых полях, способствует повышению плодородия почв

без расхода азотных удобрений. С помощью этого растения одновременно изучалась простейшая экологическая система.

Космонавты выполнили еще пять медико-биологических исследований и экспериментов. В эксперименте «Дыхание» прибор «Пневмотест» (ГДР) фиксировал у космонавтов изменение функции внешнего дыхания во время острого периода адаптации к невесомости и перехода от невесомости к земной силе тяжести. Этот период адаптации характеризуется рядом изменений функционального состояния организма (перераспределением крови и связанными с этим симптомами, а также вестибуло-вегетативными расстройствами).

В серии экспериментов «Кровообращение» исследовалось функциональное состояние организма в острый период адаптации; эти эксперименты проводились при дозированной физической нагрузке, под воздействием отрицательного

давления на нижнюю половину тела и с использованием комплекса «Пневматик», когда осуществляется задержка оттока крови от нижней половины тела космонавта.

В эксперименте «Опрос» изучались индивидуальные особенности психологической адаптации человека к экстремальным условиям деятельности, а в эксперименте «Оператор» с помощью прибора «Средец» были получены данные о влиянии длительного пребывания в замкнутом пространстве в условиях невесомости на мыслительные процессы, внимание, оперативную память и устойчивость психических функций космонавта. В эксперименте «Анкета» исследовались вестибулярные расстройства в полете и в период реадaptации и делалась попытка выявить связь этих отклонений с чувствительностью к вестибулярным раздражителям в предполетных условиях (эксперимент проводился с помощью подготовленного советскими специалистами перечня вопросов, на которые космонавты отвечали до, во время и после полета).

Во вторую группу экспериментов входили исследования в области материаловедения и определение характеристик аппаратуры, предназначенной для проведения технологических экспериментов. Выращиванию с помощью советской электроннагревательной установки «Кристалл» полупроводниковых кристаллов многокомпонентной системы «висмут — сурьма — теллур» в условиях слабой гравитации был посвящен эксперимент «Халонг-1», а выращиванию кристалла фосфида галлия — эксперимент «Халонг-4».

В эксперименте «Имитатор» определялись характеристики теплового поля установки «Кристалл» при различных температурах плавления специальной проволоки, а также путем измерения термо-ЭДС на термопарах. На болгарском приборе «Спектр-15» были продолжены исследования спектральных характеристик пропускания одного из иллюминаторов станции в видимой и инфракрасной областях по мере длительного функционирования

«Салюта-6» на орбите (эксперимент «Иллюминатор»). Чтобы установить характер влияния облаков, атмосферы и ландшафта на поляризационные свойства света, в эксперименте «Поляризация» измерялась с помощью разработанного советскими специалистами прибора ВДП-1 поляризация солнечного света, переизлученного атмосферой и отраженного Землей.

Советско - вьетнамский экипаж выполнил широкую программу исследований земной атмосферы и дистанционного зондирования Земли в целях изучения ее природных ресурсов. Программа включала определение количественных и качественных изменений передаточной функции атмосферы в зависимости от загрязненности воздушного бассейна (эксперимент «Контраст»), исследование оптических характеристик атмосферы при восходе и заходе Солнца, а также в районе терминатора (эксперименты «Горизонт — Заря» и «Горизонт — Терминатор»), изучение передаточной функции и оптических характеристик атмосферы с целью учета ее влияния на фотосъемки (эксперимент «Атмосфера»), визуально - инструментальные наблюдения и съемки отдельных районов земной поверхности и природных явлений — циклонов, тайфунов, смерчей, пожаров, вулканов и т. д.

31 июля 1980 г. после успешного завершения программы полета космонавты Горбатко и Фам Туан возвратились на Землю в спускаемом аппарате космического корабля «Союз-36», совершившем посадку в 180 км юго-восточнее г. Джебказгана.

С. А. Никитин  
Москва

Астрофизика

**Гравитационная линза во Вселенной!**

В середине 1979 г. появились сообщения группы английских и американских астроно-

мов, Д. Уолша, Р. Карсвелла и Р. Веймана, об открытии уникальной пары квазаров 0957 + 561 А, В<sup>1</sup>. Угловое расстояние между компонентами А и В пары, находящейся от нас на расстоянии миллиардов световых лет, составляет 5,7". Полные светимости компонентов<sup>1</sup> приблизительно одинаковы. Красное смещение, испытываемое фотонами, распространяющимися от квазаров к нам, оказалось одним и тем же для обеих компонентов системы; оно равно 1,4, т. е. длина волны принимаемого излучения в  $(1+Z) = 2,4$  раза превышает длину волны испускаемых фотонов. Кроме того, удивительно похожие спектры квазаров. Все это привело исследователей к предположению, что на самом деле наблюдаются не два различных квазара, а два изображения одного квазара. Это возможно, если на пути между источником и наблюдателем находится массивный объект (черная дыра, галактика и т. д.), создающий эффект гравитационной линзы.

Чтобы понять это, рассмотрим траектории световых лучей, распространяющихся от источника I к наблюдателю N. Если на пути между ними нет никаких объектов, то существует единственный пучок лучей IN, распространяющихся от источника к наблюдателю, и, соответственно, будет одно изображение источника. Предположим теперь, что вблизи I находится некий массивный компактный объект G, несколько смещенный в сторону от линии IN. Хорошо известно, что в гравитационном поле траектории световых лучей искривляются. Вследствие этого вместо одного пучка лучей будет два (IKN, ILN), соединяющих источник с наблюдателем, и мы увидим два изображения объекта (А, и В) под углом  $\theta$ . (Если бы G находился точно на линии IN, то изображение имело бы вид кольца. В случае если G представляет собой протяженный объект, например галактику, картина может быть сложнее.) Гравитационный объект окажется

<sup>1</sup> Walsh D., Carswell R. F., Weymann R. J. «Nature», 1979, v. 279, p. 381.

вает также некоторое фокусирующее воздействие, повышая яркость изображений. Отсюда название — линза. При этом изображения могут иметь различную яркость.

В настоящее время интенсивные исследования системы 0957+561 А, В ведутся на многих обсерваториях мира. Проводятся наблюдения в различных диапазонах длин волн: оптическом, радио и инфракрасном. Обнаружена галактика, находящаяся между нами и квазаром, которая скорее всего и является гравитационной линзой<sup>2</sup>. Эта галактика имеет красное смещение  $Z=0,4$  и является ярчайшим членом богатого скопления галактик; ее звездная величина равна  $18,5^m$ , центр галактики сдвинут на  $0,85''$  к северу от южного изображения квазара. Напомним, что угловое расстояние между изображениями составляет  $5,7''$ . Расстояние до этой галактики 8 млрд световых лет, а одной угловой секунде соответствует расстояние лишь в 40 тыс. световых лет, что сравнимо с размерами обычной галактики.

Исследования в оптическом и инфракрасном диапазоне<sup>3</sup> подтверждают гипотезу гравитационной линзы, однако интерпретация в ее рамках радионаблюдений затруднительна<sup>4</sup>. Появилось сообщение, что американским астрофизикам удалось обнаружить еще одну гравитационную линзу.

Для окончательного решения вопроса о гравитационной линзе, выявления объекта, ответственного за этот эффект, необходимы дальнейшие наблюдения, в частности исследование переменности компонентов системы.

**В. Ф. Муханов**  
Москва

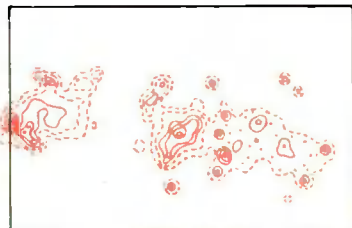
## Астрономия

### Структура ядра сейфертовской галактики NGC 1275

Один из наиболее интересных внегалактических объектов, изучаемых в настоящее время во всех диапазонах длин волн, и в частности, методами радиоастрономии, — ядро сейфертовской галактики NGC 1275. Природа его до конца не ясна. Объект состоит из системы волокон, ориентированных в основном в двух направлениях:  $60^\circ$  и  $-10^\circ$ ; максимальная протяженность волокон во второй системе составляет  $\sim 3'$ , что соответствует  $\sim 100$  кпс (расстояние до объекта 110 Мпс). В дециметровом — метровом диапазонах длин волн галактика NGC 1275 отождествляется с радиосточником 3С84 (Персей А), имеющим угловые размеры  $5'$ . Уже первые наблюдения со сверхвысоким угловым разрешением на разных длинах волн (75 см,  $6-21$  см, 3 см), проводившиеся около 10 лет назад, позволили установить сложную структуру центральной области галактики.

Недавно структура ядра галактики NGC 1275 была исследована с помощью интерференционной сети, состоящей из нескольких радиотелескопов, расположенных в разных странах и образующих интерферометры со сверхдлинными базами. В эксперименте принимали участие специалисты Института космических исследований АН СССР, Крымской астрофизической обсерватории АН СССР, Радиоастрономического института им. М. Планка (Бонн, ФРГ), Космической обсерватории в Онсала (Швеция), Национальной радиоастрономической обсерватории (Грин Бэнк, США) и Радиообсерватории в Хайстеке (США). Радиотелескопы расположены в Симензе (диаметр антенны 22 м), в Онсале (20 м), Эффельсберге (100 м), Хайстеке (37 м) и Грин Бэнке (43 м). Угловое разрешение сети составило  $10^{-4}$  сек. дуги.

Радиотелескопы синхронно принимают радиоизлучение



Распределение радиояркости ядра источника 3С84 на длине волны 1,35 см, угловое разрешение 0,25 сек; яркостная температура  $\sim 5 \cdot 10^{12}$  К.

от ядра галактики, затем сигнал усиливается, когерентно переводится на промежуточную частоту и записывается на магнитную ленту. Для дальнейшей обработки сигналов используется ЭВМ, причем для сохранения когерентности сигналов используются квантовые генераторы частоты высокой стабильности.

Из-за большой компактности ядра исследование его структуры стало возможным лишь после создания интерференционной сети. Измерения, проведенные на длине волны 1,35 см, позволили изучить с большим угловым разрешением более глубокие области ядра галактики, которые являются оптически толстыми в сантиметровом — дециметровом диапазоне длин волн. Было получено распределение радиояркости в центральной области галактики, это распределение состоит из двух параллельных систем — восточной и западной; каждая, в свою очередь, содержит три группы компонентов — центральную, северную и южную.

Изучение тонкой структуры галактики позволило сделать следующие выводы. В галактике NGC 1275 есть два ядра и связанные с ними системы компонентов; расстояние между ядрами  $\sim 0,7$  пс. Согласно гипотезе И. С. Шкловского, ядра, вероятно, гравитационно связаны между собой. Положение компонентов не меняется со временем, однако их яркостная температура изменяется, достигая максимального значения  $\sim 1,5 \cdot 10^{12}$  К. Ядро восточной системы окружено плотной поглощающей средой, для кото-

<sup>2</sup> Young P., Gunn I. E., Kristian I., Oke I. B., Westphal I. A. Preprint OAP-587, 1980; «Circular International Astronomical Union», 1979, № 3431.

<sup>3</sup> Soyfer B. T. et al. «Nature», 1980, v. 285, p. 91.

<sup>4</sup> Pooley J. J. et al. «Nature», 1979, v. 280, p. 461.

рой определен закон убывания плотности электронов. Распределение радиояркости связано со структурой магнитного поля. Большая масса ядер (масса меньшего ядра достигает  $\sim 3 \cdot 10^5 M_{\odot}$ ) и относительно малые их размеры позволяют предположить, что это сверхмассивные тела — магнитоды. «Письма в АЖ», 1980, т. 6, № 2, с. 77—86.

#### Метеоритика

### Метеориты с ледников Антарктиды

Подведены итоги третьей американо-японской экспедиции по поискам антарктических метеоритов<sup>1</sup>, которая проводилась с ноября 1978 г. по январь 1979 г. Целью работ в этом сезоне были поиски метеоритов в районе, прилегающем к станции Мак-Мердо — на леднике Дарвина в Трансантарктических горах и близ холмов Аллан Хиллс, а также построение геодезической сети на ледниках для исследования механизма концентрации метеоритов.

По снимкам со спутников в районе ледника Дарвина были обнаружены обширные, не покрытые снегом ледяные поля, так называемые голубые льды. Как показали работы предыдущих лет, именно такие участки наиболее благоприятны для поисков метеоритов<sup>2</sup>. За четыре недели в этом районе было собрано 44 образца метеоритов; из них 34 представляют собой хондриты, а 10 — железные метеориты.

Работы в районе холмов Аллан Хиллс велись тремя поисковыми группами. В течение двух месяцев они собрали 267 образцов метеоритов на участке ледника площадью 50 км<sup>2</sup>.

Гляциологическая группа экспедиции провела в районе Аллан Хиллс триангуляционные

измерения по геодезической сети протяженностью более 15 км. Повторные измерения координат пунктов этой сети позволят определить скорость движения ледника, а также скорость таяния его верхних слоев, что даст возможность оценить интенсивность выноса метеоритов из глубоких более древних слоев льда.

Всего за сезон 1978/79 гг. было собрано 311 образцов метеоритов: 11 железных, 288 хондритов, 2 углистых хондрита, 7 ахондритов, а также 3 образца, относимые к метеоритным пока лишь предположительно. Собранные метеориты имеют различный вес — от 136 кг до нескольких граммов.

В двух образцах углистых хондритов возрастом 4,6 млрд лет, найденных в Антарктиде в предыдущие годы, группа исследователей из Университета штата Мэриленд (США), возглавляемая лауреатом Нобелевской премии С. Поннамперумой, обнаружила небологические органические вещества внеземного происхождения. Углеводородные соединения в метеоритах этого типа, собранных на других материках, обнаруживали и ранее, однако ряд специалистов подвергал сомнению вывод о внеземном происхождении органических веществ в метеоритах — считалось, что достаточно высока вероятность загрязнения их органикой за время пребывания метеорита на поверхности Земли. Однако полнота антарктических условий и меры предосторожности при перевозке образцов с места сбора в лабораторию исключают загрязнение углистых хондритов, найденных в горах Ямато и в районе Аллан Хиллс. В образцах найдены протениновые и непротиновые аминокислоты, причем количество тех и других одинаково как во внутренних частях, так и на поверхности метеоритов, что свидетельствует об отсутствии земного загрязнения.

На небологическое происхождение найденных аминокислот указывает одинаковое количество право- и левовращающих молекул (т. е. молекул, вращающих плоскость поляризации света соответственно вправо или влево), поскольку биологические системы содержат только левовращающие молекулы. Полученные

результаты свидетельствуют о том, что предбиологические реакции, создающие органические компоненты, необходимые для возникновения жизни, происходят во всей Солнечной системе. Хотя такое заключение и не указывает на существование внеземной жизни, однако, по мнению Поннамперумы, увеличивает ее вероятность.

«EOS Transactions of American Geophysical Union», 1979, v. 60, № 27, p. 514—515 (США).

#### Физика

### Дрейф молекул под действием лазерного излучения

Мы уже сообщали об открытии советскими физиками направленного, так называемого дрейфового движения атомов натрия под действием оптического резонансного излучения<sup>1</sup>. Аналогичный, но значительно более мощный эффект обнаружен недавно другой группой советских исследователей из Института атомной энергии им. И. В. Курчатова в смесях газов многоатомных молекул шестифтористой серы SF<sub>6</sub> и буферного газа (гелия, водорода). Получены направленные потоки молекул SF<sub>6</sub> в миллиарды раз превысившие аналогичные потоки в случае атомов натрия.

Кювета со смесью SF<sub>6</sub> и буферного газа освещалась резонансным по отношению к вращательным уровням молекул SF<sub>6</sub> инфракрасным излучением CO<sub>2</sub>-лазера с длиной волны, перестраиваемой в области 930—955 мкм. На входе кюветы наблюдалось увеличение плотности молекул SF<sub>6</sub>; максимальное отношение числа молекул SF<sub>6</sub> на входе к их числу на выходе кюветы достигало  $\sim 10^2$  и росло с увеличением энергии лазерного импульса. В отсутствие буферного газа эффект не наблюдался.

Подтверждены высказанные ранее соображения о возможности применения эффекта

<sup>1</sup> О предварительных результатах этой экспедиции см.: «Природа», 1979, № 10, с. 100.

<sup>2</sup> См.: «Природа», 1979, № 4, с. 117.

<sup>1</sup> «Природа», 1980, № 2, с. 106.

для разделения изотопов. Так, облучение смеси, в которой отношение изотопов  $^{34}\text{SF}_6/^{32}\text{SF}_6$  составляло величину 3,7, приводило к обогащению ее молекулами  $^{34}\text{SF}_6$  на входе кюветы и молекулами  $^{32}\text{SF}_6$  на выходе. В результате на выходе кюветы для концентраций компонентов получалось соотношение  $^{34}\text{SF}_6: ^{32}\text{SF}_6=1,08$ .

Кроме того, с помощью обнаруженного эффекта можно разделять смесь буферных газов. Так, например, в смеси  $\text{SF}_6:\text{H}_2:\text{He}=0,3:1,8:1,8$  после лазерного облучения на выходе кюветы было достигнуто 20-процентное увеличение содержания водорода по сравнению с количеством гелия.

«Письма в ЖЭТФ», 1980, т. 31, вып. 8, с. 475.

#### Физика

### Антипротоны из Галактики

Сотрудники Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе АН СССР и несколько месяцев спустя группа американских физиков (НАСА и Университет штата Нью Мексико, США) сообщили об обнаружении в галактическом космическом излучении антипротонов<sup>1</sup> с энергией порядка нескольких ГэВ.

Эксперименты были выполнены с помощью магнитных спектрометров, поднятых к границе атмосферы на высотных аэростатах в средних широтах в Советском Союзе и в штате Техас, США. Советский спектрометр представлял собой систему, состоящую из сцинтилляционных и черенковских счетчиков, с помощью которых выделялось направление прихода частиц, проводилось разделение

их по скоростям и величине заряда; в эту систему входит также отклоняющий постоянный магнит и искровые камеры с оптическим съемом информации для определения траектории пролета частиц через прибор. Направленность прибора позволяла исключить возможную имитацию антипротонов альбедными протонами, идущими из нижних слоев атмосферы. Кроме того, так как скорости антипротонов и отрицательных частиц — мюонов и электронов — различны (при равных импульсах частиц) с помощью порогового газового черенковского счетчика удалось с эффективностью  $99,8 \pm 0,1\%$  исключить фон отрицательных мезонов и электронов.

В результате трех полетов магнитного спектрометра нами было зарегистрировано два галактических антипротона и 3400 галактических протонов в диапазоне энергий 2—5 ГэВ. Это соответствует величине относительного потока антипротонов  $(6 \pm 4) \cdot 10^{-4}$ . Возможный фон галактических антипротонов, который создается отрицательными мезонами, электронами и вторичными антипротонами из остаточной атмосферы над прибором, не превышал  $\sim 0,05$  частицы.

В американском эксперименте было зарегистрировано 46 «антипротоноподобных» событий, из которых 28 соответствовало галактическим антипротонам. Относительный поток антипротонов в области энергий 4,7—11,6 ГэВ составил  $(5,2 \pm 1,5) \cdot 10^{-4}$ , что находится в полном согласии с нашими измерениями.

Таким образом, поток галактических антипротонов составляет  $\sim 05\%$  от потока первичных протонов тех же энергий и сравним с потоком многих легких и средних ядер галактического происхождения. Видимому, антипротоны — единственные в настоящее время измеримые антиядра в космических лучах.

Исследования по обнаружению античастиц из космоса, начатые специалистами Советского Союза, США, Японии, Индии почти 20 лет назад, предпринимались с целью найти экспериментальный ответ на вопрос о возможной зарядовой симмет-

рии Вселенной. До последнего времени удавалось установить лишь верхний предел для величины потоков антиядер. Наилучшая оценка, полученная в 1975 г. также с помощью магнитного спектрометра физиками университета Беркли (Калифорния, США)<sup>2</sup>, составляла для относительного потока антиядер к ядрам с зарядом  $Z > 3$  величину, меньшую  $8 \cdot 10^{-5}$ . Обнаружение в космических лучах ядер антигелия, а в особенности антиуглерода и антикислорода, явилось бы серьезным аргументом в пользу существования антиматерии во Вселенной. (Рождение таких ядер при ядерных взаимодействиях в межзвездном газе практически неслучайно.) Поэтому отрицательный результат поисков антиядер в космических лучах позволял сделать вывод, что, по крайней мере, наша Галактика зарядово-несимметрична.

Поток антипротонов, зарегистрированный нами и физиками США, заметно превышает предел, полученный для антиядер, и интерпретируется нами как результат взаимодействия первичного космического излучения с межзвездным газом. Расчет подтверждает эту интерпретацию. Обнаружена новая, антипротонная компонента космического излучения.

Интересным следствием обнаружения антипротонов в космических лучах является новая, астрофизическая экспериментальная оценка времени жизни антипротона: это время превышает по крайней мере  $10^7$  лет — характерное время жизни космических лучей. Недавно физикам ЦЕРНа в экспериментах на ускорителе с накопительными кольцами удалось получить нижний предел этого времени<sup>3</sup>, равный всего 1700 ч. Прогресс по сравнению с ускорительными данными, несомненно, велик, и улучшить экспериментальную оценку

<sup>1</sup> Bogomolov E. A., Lubyayana N., D., Romanov V. A., Stepanov S. V., Shulakova M. S. «Proc. 16th Int. Cosmic Rays Conf., Kyoto, Japan, 1979, v. 1, p. 330; Golden R. L. et al. «Phys. Rev. Lett.», 1979, v. 43, No 16, p. 1196.

<sup>2</sup> Smoot G. F., Buffington A., Orth C. D. «Phys. Rev. Lett.», 1975, v. 35, No 4, p. 258.

<sup>3</sup> Buffington A. et al. «CERN Courier», 1979, v. 19, No 7, p. 312.



этой величины в ближайшее время будет крайне трудно.

Особенность рождения антипротонов в ядерных реакциях — высокий энергетический порог этих реакций. Поэтому, чтобы при взаимодействии космических лучей с межзвездным газом могли появиться протоны, космические лучи должны пройти фазу ускорения. Если доля вещества, проходимого космическими лучами при ускорении (например, в оболочках сверхновых), составляет заметную часть общего количества вещества, проходимого космическими лучами при их блуждании в Галактике, то ожидаемая интенсивность антипротонов в космическом излучении заметно уменьшится.

На основании выполненных измерений потоков антипротонов уже сейчас можно сказать, что большую часть вещества космические лучи проходят после фазы ускорения.

Э. А. Богомолов

В. А. Романов,

кандидат физико-математических наук  
Ленинград

Физика

Упругие волны в кристалле

Специалисты Иллинойского университета (США) получили пространственное распределение потоков баллистических<sup>1</sup> фононов в кристаллической решетке полупроводника германия при  $T \sim 2\text{K}$ . Информация была получена с экрана телевизора, соединенного с миникомпьютером, в памяти которого в течение 10 мин накапливались данные о направлениях и времени пролета фононов.

Полученная картина пространственного распределения

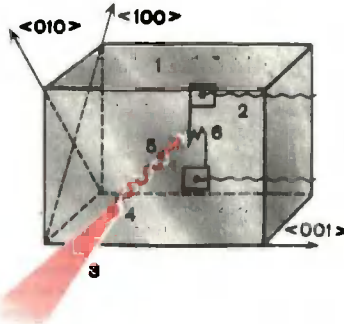


Схема эксперимента: 1 — кристалл; 2 — металлизированная грань; 3 — излучение лазера; 4 — лазерный фокус; 5 — фононный импульс (поток фононов); 6 — болометр.

фононов подтверждает выводы о существовании так называемой фокусировки баллистических фононов и хорошо согласуется с теоретическими расчетами. Термин «фокусировка» означает резко анизотропное (обусловленное анизотропией упругости решетки) распределение упругих волн в кристаллах.

В эксперименте потоки фононов, рождаемых точечными импульсными тепловыми источниками, распространялись от одной грани кристалла (001) до противоположной, в центре которой находился датчик тепловых импульсов. В качестве датчика использовался миниболометр из сверхпроводящего алюминия, температура которого поддерживалась вблизи точки сверхпроводящего перехода  $\sim 2\text{K}$ .

При медленном сканировании сфокусированного луча лазера по металлизированной<sup>2</sup> грани (001) кристалла германия на ней возникла квадратная дискретная сетка импульсных точечных тепловых источников с  $T \sim 10\text{K}$  и длительностью каждого импульса 150 нс. Пышка каждого лазерного импульса и регистрация приходящего на болометр фононного импульса управлялись с помощью миникомпьютера, позво-

лявшего фиксировать момент возникновения фононного импульса относительно момента появления импульсного теплового источника. В результате было найдено время пролета баллистических фононов в различных направлениях внутри кристаллической решетки. Метод позволил с точностью до  $1^\circ$  определить направления потоков фононов, выделяя отдельно продольные и поперечные (т. е. медленные и быстрые) акустические фононы. Для получения изображения на экране оказалось достаточно информации, накопленной компьютером в течение 1—10 мин.

Как считают авторы, метод позволяет не только прямо наблюдать внутрикристаллическую анизотропию, но и получать сведения о взаимодействии фононов с дефектами кристалла и фотовозбужденными областями внутри полупроводника.

«Physical Review Letters», 1979, v. 43, № 19, p. 1424 (США).

Физика

Лазерное излучение отрывает молекулы от поверхности кристалла

В. С. Антонов, В. С. Летохов и А. Н. Шибанов (Институт спектроскопии АН СССР) обнаружили эффект прямого (т. е. без разогрева облучаемой поверхности) отрыва молекулярных ионов с поверхности молекулярных кристаллов под воздействием лазерного излучения. Отрыв ионов без их разрушения наблюдался при облучении поверхности кристаллов гуанина, аденина, тимина, урацила, цитозина и антрацена короткими ( $\sim 15\text{нс}$ ) и мощными ( $6 \cdot 10^4$ — $6 \cdot 10^5\text{Вт}$ ) импульсами УФ-излучения экспериментального лазера на КФ с длиной волны 249 нм. Затем под воздействием импульса электрического поля напряженностью 120 В/см ионы выталкивались в ускоряющее пространство масс-спектрометра, с помощью которого проводился анализ продуктов фотоионизации. Одновременно исследовалось распределение ио-

<sup>1</sup> Баллистическими называют фононы с длиной свободного пробега, превышающей размеры кристалла. Такой режим реализуется при низких температурах.

<sup>2</sup> На грань напылялась константановая или алюминиевая пленка толщиной  $\sim 0,2\text{мкм}$ .



нов по скоростям, а также временная задержка вылета ионов по отношению к лазерному импульсу.

Результаты анализов показали, что в случае оснований нуклеиновых кислот преобладает процесс прямого отрыва молекулярных ионов, сопровождаемый вылетом ионов натрия, калия и молекул оснований, в которых атом водорода замещен натрием. В случае цитозина и урацила задержка вылета ионов достигала 3 мкс, причем их выход увеличивался при наложении выталкивающего поля. Ионы аденина и гуанина вылетали без задержки по отношению к лазерному импульсу и имели аномально большие скорости (кинетическая энергия достигала  $\sim 1$  эВ). Если мощность лазерного излучения превышала  $10 \text{ МВт/см}^2$ , то число компонентов, выделяемых масс-спектрометром, возрастало за счет появления примесей и распада исходных молекул и их ионов. Общий выход молекулярных ионов достигал  $10^4$ — $10^5$  ионов/имп.

Как считают авторы работы, полученные результаты подтверждают возможность создания ионного проектора с селективной лазерной фотоионизацией<sup>1</sup>. Установка предназначена для непосредственного наблюдения пространственной структуры макромолекул, в частности молекул ДНК. Другое практическое применение эффекта заключается, по мнению авторов, в его использовании для масс-спектрометрического анализа микроколичеств труднолетучих и неустойчивых к нагреву органических соединений.

«Письма в ЖЭТФ», 1980, т. 31, вып. 8, с. 471.

#### Медицина

### Получение интерферона с помощью генной инженерии

Интерферон — белок, вырабатываемый клетками организма в ответ на введение

вирусов или других веществ (так называемых интерфероногенов); он стимулирует продуцирование клетками антивирусного белка и тем самым защищает их от болезнетворного действия самих вирусов. Поэтому открытие в 1957 г. интерферона породило надежды на успешное лечение вирусных инфекций. Однако использование обычного (нативного) интерферона не дало ожидаемых результатов: его концентрация в растворе была невелика, и, кроме того, в нем присутствовали посторонние примеси.

В последние годы в Финляндии и Советском Союзе<sup>1</sup> удалось разработать методы высокой очистки и концентрации интерферона, что позволило получить препарат, который можно вводить внутрь организма путем инъекций. Применение такого интерферона дало многообещающие результаты не только при лечении вирусных, но и онкологических заболеваний, и в перспективе встал вопрос о передаче его в клинике в качестве нового мощного терапевтического средства. Поэтому возникла необходимость промышленного выпуска интерферона, однако такое решение натолкнулось на большие трудности, связанные с ограниченным количеством исходного материала: интерферон получают главным образом из клеток крови доноров, а выход готового препарата после его очистки и концентрации сравнительно мал,  $\sim 1\%$ . Все это послужило стимулом к поискам новых путей получения интерферона.

Недавно Ч. Вейсманн (Цюрихский университет, Швейцария) сообщил, что в его лаборатории получен активный интерферон из бактерий, в ДНК которых были введены гены человеческого интерферона. Последние были получены из стимулированных вирусом лимфоцитов человека и с помощью генетических методов (с использованием плазмиды РВР 322) введены в генетический аппарат кишечной палочки. После многочисленных экспериментов удалось получить штаммы этих бактерий, способные выра-

батывать интерферон. Биологические и химические характеристики препарата почти такие же, как и у человеческого интерферона.

Однако количество препарата, вырабатываемое кишечными палочками, во много раз меньше, чем вырабатывается клетками человека. Поэтому новый метод получения интерферона пока непригоден для промышленного использования. Тем не менее, как считает Вейсманн, «заставить» бактерии повысить выработку интерферона будет не столь уж трудно и для этого не потребуются много времени.

«Nature», 1980, v. 283, No 5745, p. 323 (Великобритания).

#### Молекулярная биология

### Обнаружено функциональное назначение интронов

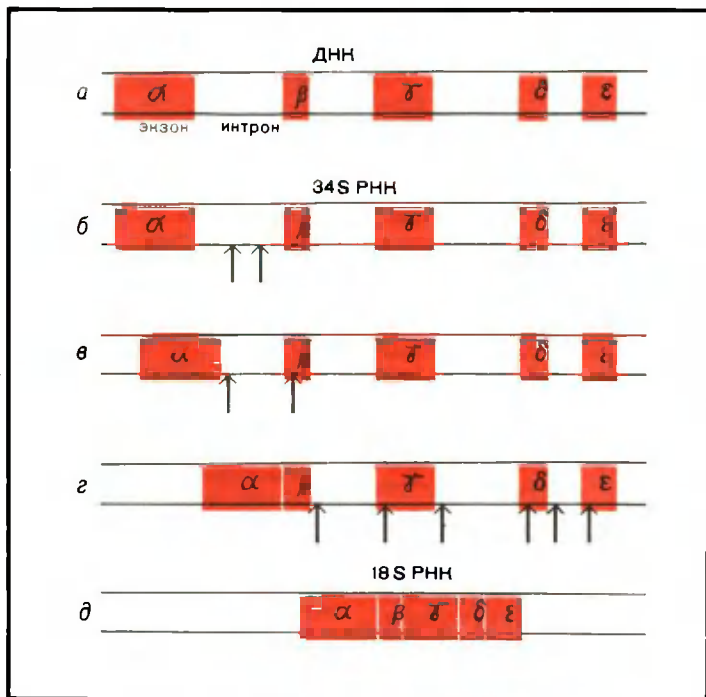
Одно из наиболее сенсационных открытий в области молекулярной биологии и генетики за последнее время — обнаружение мозаичного строения генов эукариот: наряду с кодирующими участками ДНК — экзонами — имеются участки ДНК, которые не кодируют структуры полипептидных цепей<sup>1</sup>. Такие некодирующие участки — интроны — удаляются (частично или полностью) на одном из промежуточных этапов передачи генетической информации от генов к белкам, а именно: после образования первичных транскриптов генов<sup>2</sup>. Удаление «лишних» участков, осуществляемое с помощью специфических ферментов, получило название сплайсинга. До последнего времени считалось, что такое «мозаичное» строение характерно

<sup>1</sup> Подробнее об этом см.: — «Природа», 1980, № 8, с. 109.

<sup>2</sup> Первичным транскриптом называется РНК, скопированная с определенного участка генома и еще не подвергшаяся модификации.

<sup>1</sup> Летохов В. С. — «Квантовая электроника», 1975, т. 2, с. 930.

<sup>1</sup> Соловьев В. Д. В кн.: Интерферон: настоящее и будущее. М., 1977, с. 9.



Строение митохондриального гена СОВ и механизм сплайсинга с образованием 18S РНК: а — ген СОВ; цветом показаны участки — экзоны (α, β, γ, δ, ε), кодирующие структуру цитохрома b; между ними располагаются интроны, вырезаемые в результате сплайсинга; б — первичный транскрипт гена СОВ, образующийся на ДНК, как на матрице, в результате действия фермента РНК-полимеразы; в, г, д — отдельные этапы сплайсинга, в результате которого из первичного транскрипта вырезается последовательность нуклеотидов, соответствующая интронам. Стрелками показаны те участки РНК, на которые действуют ферменты, вырезающие интроны; д — 18S РНК, образовавшаяся в результате сплайсинга. Вследствие мутации в интронах, расположенных, например, между экзонами α и β или β и γ, превращение 34S РНК в 18S РНК останавливается на одном из промежуточных этапов. В результате 18S РНК, являющейся иРНК для синтеза цитохрома b, не образует.

лишь для ядерных генов эвкариот; данные о мозаичном строении были получены, например, для генов глобина, овальбумина, иммуноглобулинов и других белков. Относительно роли интронов практически ничего не было известно; предполагалось, что эти «ненужные» куски ДНК не несут сколько-нибудь важной функциональной нагрузки.

Серия работ, проведенных в Генетическом институте при Мюнхенском университете (ФРГ) под руководством Ф. Каудевица, а также в Центре молекулярной генетики (Жиф-сюр-Ивет, Франция) под руководством П. Слонимского, позволила существенно расширить наши представления о распространении мозаичных генов, а также о роли интронов, входящих в их состав. Изучалось строение митохондриального гена СОВ дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*, кодирующего белок цитохром b, который синтезируется за счет митохондриального аппарата белкового синтеза. Выяснилось, что ген СОВ является мозаичным: в его состав входит 5 экзонов, кодирующих структуру цитохрома, и 4

интрона, вырезаемых в процессе сплайсинга<sup>3</sup>. Из этих работ следует принципиально важный вывод: мозаичное строение генов характерно не только для ядерного, но и для митохондриального генома.

Второй важный вывод касается роли интронов, входящих в состав этого гена. Как показали исследования, проведенные в лаборатории Ф. Каудевица, изменение структуры интрона гена СОВ в результате мутаций нарушает процесс сплайсинга<sup>4</sup>. В результате 18S РНК, являющейся матрицей для синтеза цитохрома b, в таких мутантах не обнаруживается, и синтез этого белка в митохондриях прекращается.

Чрезвычайно интересные результаты были получены недавно М. Сольозом и Г. Шацем (Университет г. Базель, Швейцария)<sup>5</sup>. Удалось установить, что мутации по интронам гена цитохрома b могут не только останавливать синтез белка, но и изменять его структуру. В таких мутантах обнаружены полипептиды как меньшей, так и большей длины, чем цитохром b из клеток некультивированного типа. Чтобы выяснить детально молекулярный механизм образования таких аномальных цитохромов, необходима полная информация о первичной структуре мутантного гена и его продукта, которая пока отсутствует. Однако уже сейчас становится очевидным, что мутации по интронам некоторых генов могут вызывать определенные изменения в структуре белка, который кодируется этим геном.

**А. П. Сургучев,**

кандидат биологических наук  
Москва

<sup>3</sup> Slonimski P. P. et al. *Biochemistry and Genetics of Yeast*. N. Y., 1978, p. 339—368; Kaudewitz F. et al. «*Europ. J. Biochem.*», 1979, № 94, p. 451—464.

<sup>4</sup> Kaudewitz F. et al. «*Curr. Genetics*», 1980, № 1, p. 155—161.

<sup>5</sup> Solioz M., Shac G. «*J. Biol. Chem.*», 1979, v. 254, № 19, p. 9331.

## Курение уменьшает содержание в организме α-антитрипсина

Эмфизема легких — тяжелое хроническое заболевание — характеризуется разрушением легочной ткани и особенно эластических волокон. Причиной этого заболевания часто является пагубное воздействие на ткань легких ферментов (так называемых эластолитических протеаз), выделяемых клетками крови — лейкоцитами и макрофагами. В нормальном функционирующем организме против действия этих протеаз легочную ткань защищает α-антитрипсин — белок, обладающий антипротеазной активностью и циркулирующий в крови. У лиц с наследственной недостаточностью этого белка имеется предрасположенность к развитию эмфиземы легких. Однако у большинства людей, пораженных этим заболеванием, наблюдается нормальное содержание α-антитрипсина, что указывает на возможность возникновения заболевания не только на генетической основе, но и вследствие изменений условий окружающей среды.

В 1978 г. опубликованы результаты наблюдений, согласно которым сигаретный дым, смешанный с водой, инактивировал человеческий α-антитрипсин, содержащийся в пробирках<sup>1</sup>. Эти наблюдения послужили причиной проведения экспериментов на животных. Опыты ставились на крысах, которых обкуривали сигаретным дымом с помощью специальной установки, позволяющей точно дозировать количество дыма для каждого животного. По окончании обкуривания измеряли количество α-антитрипсина, содержащегося в легочной тка-

ни животных. Оказалось, что после нескольких обкуриваний содержание этого белка снижалось.

Затем количество α-антитрипсина было определено в крови у 22 заядлых курильщиков обоего пола, средний стаж употребления табака которыми составлял 27 лет. Каждый из этих людей обычно выкуривал в день не меньше пачки сигарет. Всех испытуемых попросили выкурить одну сигарету в течение 10 мин., после чего их кровь была взята на анализ. Контролем служили 13 человек обоего пола, ранее никогда не куривших. Оказалось, что уровень α-антитрипсина в крови курильщика был значительно ниже, чем у некурящих.

Опыты раскрывают один из механизмов, с помощью которого курение наносит непоправимый вред организму человека: в результате курения наступает временное нарушение равновесия между содержанием легочных протеаз и препятствующим их разрушительной деятельности α-антитрипсином, что ведет к постепенному разрушению легочной ткани и развитию у хронических курильщиков заболеваний легких.

«Science», 1979, v. 206, № 4424, p. 1313 (США).



Физиология

## Токсическое действие свинца повышается с ростом температуры

Неоднократно было замечено, что частота и тяжесть отравления людей свинцом зависят от времени года, резко возрастая в летние месяцы. Это связывали с повышенной мобильностью населения в теплое время года и, следовательно, большей вероятностью подвергнуться воздействию соединенный свинца. Однако зависимость токсического действия свинца на млекопитающих от температуры окружающей среды оставалась неясной.

Американские специалисты Г. Л. Райт и М. А. Лэсслер (Медицинский колледж Университета штата Огайо) изучали раздельное и совместное действие свинца и высокой комнатной температуры в опытах с крысами. Исследовались распределение свинца в тканях, изменение веса тела и терморегуляция животных.

Две контрольные группы содержались при температуре одна — 23°C, другая — 33°C. Две опытные группы, также содержавшиеся при 23 и 33°C, получали с пищей однопроцентный уксусный раствор свинца. Через 6 недель, после завершения опыта животных забивали и определяли содержание свинца в тканях мозга, печени, селезенки, надпочечников, сердца и в костном мозге, используя атомную абсорбционную спектрометрию. Основные результаты оказались следующими.

При раздельном действии и повышенной температуре, и введение Pb в рацион уменьшают приток веса тела; при сочетании обоих факторов эффект суммарный. Только повышение температуры не влияет на концентрацию Pb в крови животных, однако его содержание в других тканях при этом существенно перераспределяется: растет концентрация в надпочечниках (в 1,4 раза) и особенно в костном мозге (почти в 2 раза); в ткани мозга содержание Pb лишь несколько повышается, а в сердечной мышце снижается (по сравнению с фоновым содержанием).

Введение Pb в рацион при комнатной температуре примерно в 4 раза повышало его концентрацию в крови и всех изученных тканях, кроме надпочечников и скелетных мышц. Введение Pb при повышенной температуре снижало его содержание (в сравнении с животными, получавшими Pb при 23°C) в сердечной мышце, печени и селезенке (в 1,5—2 раза) и повышало только в надпочечниках (в 2 раза). Создается впечатление, что надпочечники наиболее остро реагируют на воздействие свинца при повышении температуры.

Таким образом, коикретные физико-химические условия могут существенно влиять

<sup>1</sup>Sato H., Kurecki T. et al. «Biochem. Biophys. Res. Comm.», 1979, v. 86, p. 130; Johnson D., Travis J. «J. Biol. Chem.», 1979, v. 254, p. 422.

как на степень токсического эффекта, так и на характер физиологических сдвигов.

«Environmental Research», 1979, v. 18, № 2, p. 377—384 (США).

Физиология

**Глаз рака и рентгеновская астрономия**

Американский астрофизик Дж. Эйндел (Обсерватория Стюарта Университета штата Аризона) сообщает о проекте создания большого рентгеновского телескопа, в котором используется принцип фокусировки лучей, осуществленный природой в глазу ракообразных. Предполагается, что телескоп с зеркальной системой диаметром 2,5—3 м будет выведен на околоземную орбиту космическим кораблем и окажется весьма полезным при исследовании вспышечных и переменных космических рентгеновских источников, в частности барстеров.

Принцип фокусировки лучей в глазу речных раков, креветок, омаров и других представителей длиннохвостых десяти-

ногих раков был впервые правильно понят в 1975 г. К. Фогтом (Штутгартский университет, ФРГ). Лучи фокусируются системой миниатюрных отражателей — прямых трубок квадратного сечения с зеркальной внутренней поверхностью. Радиально ориентированные, эти трубки равномерно покрывают сферическую поверхность глаза (радиуса R). Изображения предметов фокусируются на сетчатке, также имеющей сферическую форму и радиус R/2. Ранее, в течение почти столетия, ошибочно предполагалось, что по своему устройству рачий глаз подобен многолинзовому глазу насекомых. Однако детальное исследование показало, что коэффициенты преломления сред глаза рака недостаточны для фокусировки. Позднее в рачьем глазу были обнаружены правильно отражающие пленки, прежде ускользавшие от внимания исследователей, поскольку они не видны с внешней стороны глаза и их отражающие свойства полностью теряются при обычных методах фиксации биопрепаратов. Применение сканирующего электронного микроскопа позволило исследовать тонкую структуру отражающей поверхности: подобно многослойным диэлектрическим зеркалам, созданным человеком, пленка в рачьем глазу построена из чередующихся тончайших слоев веществ с относительно большим коэффициентом преломления (гуанин — 1,83) и с малым коэффициентом (цитоплазма — 1,34).

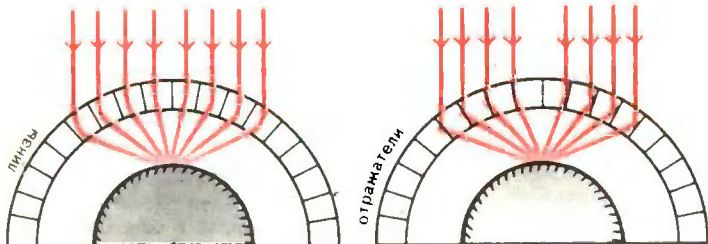
Достоинствами оптической схемы рачьего глаза являются его высокая светосила (1:0,7) и, главное, очень широкое поле зрения, превышающее 180°, — свойства, весьма ценные для малоподвижных обитателей водной среды. Практи-

чески неограниченное поле зрения и относительно высокая светосила телескопа типа «рачий глаз» сохраняются и в мягкой рентгеновской области спектра. При энергии фотонов меньше ~ 10 кэВ они могут отражаться, если угол падения лучей близок к 90°, что и происходит в телескопе типа «рачий глаз». Это делает перспективным его использование в рентгеновской астрономии, которая имеет дело со сверхслабым излучением, приходящим из глубин наблюдаемой Вселенной.

Недавно зеркальная оптика обнаружена М. Ф. Лендом (Сассекский университет) и у некоторых других морских животных. Так, в глазу глубоководного ракушечного рачка *Gigantocypris* находится асферическое зеркальце с рекордной светосилой 1:0,3. У моллюска гребешка (*Pecten*) в глазу имеются и отражающие и преломляющие элементы. Основная фокусировка производится светосильным зеркалом сферической формы. Однако из-за больших aberrаций зеркала резкость получаемого изображения невелика. Качество изображения заметно улучшается с помощью преломляющей роговицы особой формы, компенсирующей aberrации зеркала. Кстати, подобная комбинация уже давно применяется в оптических телескопах-рефлекторах системы Шмидта и Максутова, где aberrации зеркала компенсируются корректирующей пластинкой или линзой-мениском.

«Science», 1980, v. 207, № 4426, p. 47 (США).

Схема устройства глаза ночного насекомого (слева) и рака (справа). В многолинзовом глазу насекомого отдельные изображения предмета собираются на сетчатке в одно благодаря преломлению в среде с радиальным градиентом коэффициента преломления. У рака пучки лучей, прошедшие через зеркальные трубки квадратного сечения, собираются в одно пятно благодаря отражению от стенок трубки; именно этот принцип фокусировки предполагается использовать в рентгеновском телескопе.



Экология

**Проблема кислотности осадков в США**

В последнее десятилетие все чаще отмечаются случаи высокого содержания в атмосфере двуокиси серы и окислов азота, что главным образом связано с сжиганием ископаемого топлива. Выпадающие осадки отличаются повышенной кислотно-

стью; особенно часты «кислотные дожди» в Скандинавии и остальной части северо-западной Европы. Однако ныне это явление стало нередким и на территории США. Так, в горах на севере штата Нью-Йорк повышенная кислотность осадков нанесла ущерб культурным растениям и вызвала массовую гибель рыбы в многочисленных озерах (более 90 озер стали совершенно безрыбными). Средний уровень pH воды в этих озерах, составлявший в 30-х годах 6,5, упал ныне до 4,8.

У. М. Льюис и М. С. Грант (Университет штата Колорадо в Боулдере), выступая на конференции Национальной комиссии по качеству воздуха, сообщили, что теперь проблема кислотности осадков существует и в западных районах США, позже других охваченных индустриализацией. Проводившиеся в течение четырех лет измерения в заповеднике Индиан-Пикс (штат Колорадо) показали, что кислотность осадков возросла здесь почти в 7 раз.

К сожалению, источники таких загрязнений с достаточной точностью пока обнаружить трудно: по мере увеличения высоты промышленных труб продукты сгорания угля на электростанциях поступают во все более высокие слои атмосферы и разносятся на все большие расстояния. В заявлении помощника начальника Управления охраны природной среды США по науке Дж. Гейджа сообщается, что вводимый ныне усиленный контроль за промышленными выбросами двуокиси серы должен, как ожидается, снизить их уровень на 80—90% за несколько лет. С 1980 г. в США начала выполняться рассчитанная на 10 лет федеральная программа оценки проблемы кислотности осадков. Организуются две сети специальных станций и устанавливается сотрудничество с аналогичной глобальной сетью, создаваемой Всемирной метеорологической организацией.

Перенос в атмосфере двуокиси серы и окислов азота на огромные расстояния делает проблему кислотности осадков международной и требует всестороннего и повсеместного изучения.

«Science News», 1979, v. 116, № 45, p. 244 (США).

## Геология

### Озеро Аксукон — уникальный бассейн, образованный подземными солями

Считают, что высокая соленость большинства озер засушливой зоны нашей страны обусловлена интенсивным испарением воды с их поверхности — так называемым «упариванием». Однако проведенные нами исследования Аксукона — одного из соленых озер северного Таджикистана — показали, что его высокая минерализация в основном связана с подземными солями.

Оз. Аксукон издавна известно своими целебными грязями. В переводе с тюркского его название означает «белая вода», что вполне оправдывает внешний вид озера в летнее время, когда оно покрывается коркой соли. От сезона к сезону размер озера меняется в зависимости от динамики испарения и поступления в него воды. Его средняя площадь 1,6 км<sup>2</sup>, средняя глубина не превышает 1—1,2 м. Озеро окружено полукольцом невысоких гряд, открытым к северо-западу, в сторону Куреминского хр. Гряды сложены засоленными породами палеоген-неогенового возраста, которые оказались на поверхности в результате неог-

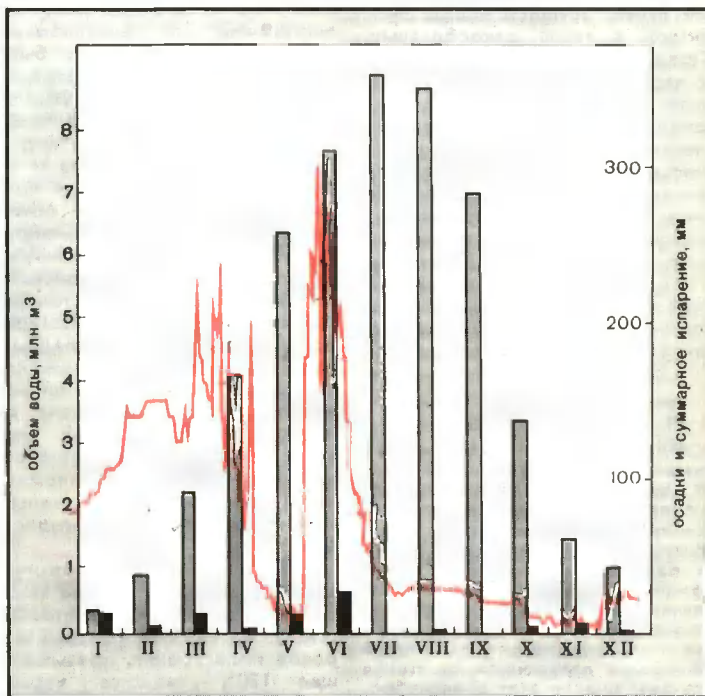
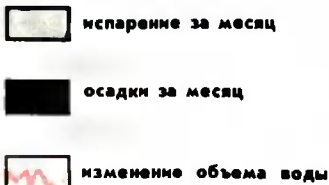


График годового хода испарения с открытой поверхности оз. Аксукон, выпадения осадков в районе озера и изменения объема воды в нем (по Г. Д. Мямлину).



тектонических движений. Эти же трещиноватые породы, как установили гидрогеологи Таджикистана, подстилают и дно озера. В них циркулируют сильно минерализованные (свыше 200 г/л) напорные подземные воды хлоридно-натриевого состава.

На основе материалов Северной гидрогеологической экспедиции Таджикской ССР нами произведен расчет водно-солевого баланса озера, который

показывает, что в основном оно питается подземными рассолами, выходящими непосредственно на его дне. Поверхностный приток в озеро втрое меньше подземного, он осуществляется за счет селевых потоков, которые формируются на склонах Кураминского хр. благодаря интенсивному таянию снега и дождям.

Для озера характерны два четко выраженных максимума притока воды: весенний, поверхностный (во время прохождения селей) и в начале лета, когда наблюдается максимум притока подземных вод, западающий во времени по сравнению с поверхностным (испарение в этот период еще не успевает снизить уровень воды в озере). С середины лета осадки уменьшаются, испарение резко возрастает, приток поверхностных и подземных вод сокращается.

Минерализация воды в Аксуконе достигает наибольших значений в конце лета — до 300 г/л. Весной же она снижается до 60 г/л за счет разбавления озерного рассола пресными водами селевых потоков, в которых минерализация не выше 0,3 г/л. В озере растворено до 400 тыс. т солей. Однако ежегодно в него вместе с поверхностными, грунтовыми и напорными водами поступает 700 тыс. легкорастворимых солей. За каких-нибудь 2—3 года при отсутствии заметного стока озеро превратилось бы в настоящий соленый айсберг. Этому, однако, препятствует ветер. Золотой вынос солей с его поверхности в стороны Ферганской долины — основная расходная статья солевого баланса оз. Аксукон.

На юго-западе Ферганской долины, в Камыш-Курганской межгорной впадине, находятся так называемые «Ходжентские ворота». Дующие в этом узком коридоре ветры отличаются постоянством и большой силой — до 18—22 м/с, а порой достигают силы урагана. Соленые брызги и твердые частички соли они поднимают высоко в воздух и перемещают на значительные расстояния. Масштаб золотого переноса солей очень велик — 660 тыс. т/год. Таким образом, легкорастворимые соли, попавшие из глубоких

водоносных горизонтов в чашу оз. Аксукон, продолжают миграцию воздушным путем в сторону Ферганской долины, осуществляя свой геологический кругооборот во времени.

А. В. Черняго  
ВНИИ гидротехники и мелиорации  
им. А. Н. Костякова

Л. С. Черняго  
Институт «Союзгипроводхоз»

Москва

Геохимия

## Карбонат кальция в Тихом океане

Ю. А. Богданов, Е. Г. Гурвич и А. П. Лисицын (Институт океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР) показали в своих исследованиях, что содержание в донных осадках Тихого океана карбоната кальция (одного из основных осадкообразующих компонентов) количественно зависит от биологической продуктивности и глубины океана.

В водной толще практически весь взвешенный карбонат кальция имеет органическое происхождение и в основном представлен скелетными остатками карбонатконцентрирующих планктонных организмов — фораминифер и кокколитофорид. Его концентрация колеблется от 2,56 до 175 мкг/л, при этом максимальные значения отмечены в водах умеренных и высоких широт, а также экваториальной зоны. Тропические воды обеднены им (здесь концентрация ниже 5 мкг/л). Наиболее общая закономерность пространственного распределения взвешенного карбоната кальция в поверхностных водах океана — приуроченность его повышенных концентраций к высокопродуктивным зонам.

Вертикальное его распределение в общих чертах сходно с распределением других биогенных компонентов — органического углерода и аморфного кремнезема. Область максимальной концентрации — 200-метровый поверхностный слой океана, где наблюдается при-

мущественное развитие карбонатконцентрирующих планктонных организмов.

Достигший поверхности дна карбонатный материал, прежде чем быть захороненным в осадках, претерпевает существенные преобразования. Поэтому распределение его в донных осадках обусловлено соотношением между скоростью осаждения на дно и скоростью его растворения. Огромные пространства северной части дна океана почти лишены карбонатных осадков, они встречаются лишь на хребтах и одиночных подводных горах; в тропической и южной умеренной части они распространены очень широко, а в приантарктической области сменяются кремнистыми илами и отмечены лишь на отдельных поднятиях.

Сопоставив закономерности образования, осаждения и захоронения трех главных осадкообразующих биогенных компонентов (карбоната кальция, аморфного кремнезема и органического углерода), авторы установили, что на всех этих трех этапах они фракционно разделены. В связи с большей устойчивостью карбонатных частиц к воздействию морской воды, по сравнению с кремнистыми, почти повсеместно (за исключением наиболее высокопродуктивных зон океана) карбонатный материал во взвеси начинает преобладать над кремнистым. Процесс разделения продолжается и на поверхности дна. В донных осадках захороняется (от количества, достигшего дна): органического углерода — до 1% (редко до 2%), аморфного кремнезема — в среднем 10%, карбоната кальция — около 18%.

Таким образом, соотношение биогенных компонентов в донных осадках количественно связано с первичной продукцией органического углерода, глубиной океана и скоростью накопления осадков. Температура же поверхностных и глубинных вод, насыщенность вод карбонатом кальция, видовой состав планктона, привносимый в океан осадочный материал (в том числе растворенные вещества) — все это, как установили авторы, оказывает вто-



ростепенное влияние на зональность накопления биогенных компонентов на океаническом дне.

«Геохимия», 1980, № 4, с. 548—555.

### Геоморфология

## Подводные горы в Тихом океане

По подсчетам различных авторов, в Тихом океане от 7,5 до 10 тыс. гор. Распределены они крайне неравномерно: в северо-западной части океана гор значительно больше, чем в юго-восточной. А. М. Горюничий, Н. А. Марова и А. П. Седов (Институт океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР) на основе статистического анализа высот 4500 подводных гор и надводных вулканов Тихого океана показали, что кажущееся на первый взгляд хаотичным пространственное и высотное распределение этих образований на самом деле определяется их тектонической связью с более крупными структурами дна.

Среди низких гор (до 3 км) половина имеют высоту от 1 до 2 км. В океанических котловинах число таких невысоких гор примерно в 1,5 больше, чем на поднятиях. Максимальная доля невысоких гор (почти 2/3) отмечается в Северо-Восточной котловине — одной из крупнейших в Тихом океане. На поднятиях горы в 1—2 км высотой составляют в среднем 1/3 от общего числа, за исключением Восточно-Тихоокеанского поднятия, где доля низких гор достигает 3/4.

Число высоких гор (более 3 км) растет с увеличением возраста океанической коры по мере удаления от срединно-океанического хребта. В пределах Восточно-Тихоокеанского поднятия высокие горы составляют лишь 10%, а в непосредственно примыкающих к нему Северо-Восточной и Южной котловинах — 15%. В котловинах, расположенных дальше от срединно-океанического хребта, доля высоких гор возрастает:

в Центральной котловине — 20%, а в Северо-Западной и Восточно-Марианской — до 26%. Аналогичная картина наблюдается при удалении от срединного хребта и на поднятиях, однако доля высоких гор на них больше, чем в котловинах: 27—30% — на поднятиях Лайн — Туамоту и Маркус — Неккер, 41% — на Гавайско-Императорской цепи, 47% — на поднятии Маршалловых о-вов.

Число очень высоких гор (5—6 км и выше) весьма незначительно и в среднем не превышает 3%, а на Восточно-Тихоокеанском поднятии, поднятии о-вов Туамоту, в Северо-Западной и Восточно-Марианской котловинах гор выше 5 км вообще не обнаружено.

По мнению авторов, выявленные закономерности распределения подводных гор разной высоты обусловлены связью подводных и надводных вулканов с толщиной океанической литосферы. По теоретическим оценкам, глубина источников базальтового вулканизма под рифтовой зоной Восточно-Тихоокеанского поднятия, имеющей более молодую кору, составляет 15—25 км, а высота образовавшихся здесь вулканов не должна превышать 3 км. По мере увеличения возраста коры растет толщина литосферы и, соответственно этому, — предельная высота вулканов. В глубоководных котловинах толщина литосферы достигает 50—80 км, что определяет возможность образования гор высотой 4—5 км и более. Результаты статистического анализа, как считают авторы, согласуются с этими теоретическими оценками.

Тезисы докладов XIV пленума Геоморфологической комиссии АН СССР. Иркутск, 1979, с. 40—42.

### Геотектоника

## Обнаружена рифтовая система на северо-востоке Азии

Е. Г. Песков и И. М. Мигович (Центральный научно-исследовательский геологический институт Министерства геоло-

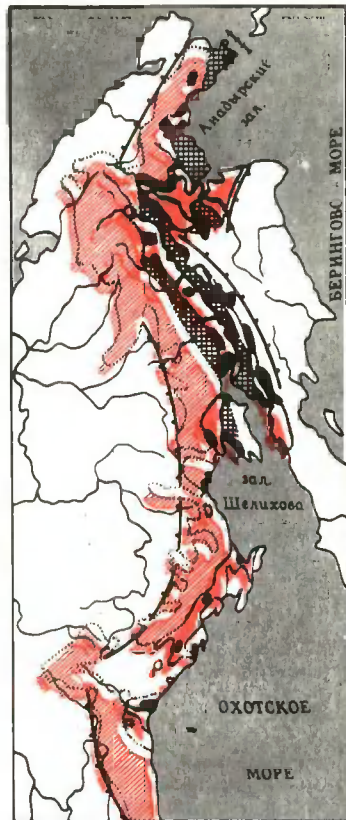


Схема Охотско-Анадырской рифтовой системы.



логии СССР и Северо-Восточный комплексный НИИ ДВНЦ АН СССР), проанализировав строение и историю развития впадин кайнозойского возраста и обрамляющих их поднятий, цепью вытянутых вдоль северного побережья Охотского моря и долины рек Пенжина и Анадырь, выделили на северо-востоке

Азии крупную окраино-континентальную рифтовую систему.

Общая протяженность рифтовой системы от Удской губы Охотского моря до Анадырского зал. Берингова моря около 3000 км (см. схему). Система включает и Охотско-Чукотский вулканогенный пояс. Владины в этой зоне раздвижения земной коры образовались путем опускания блоков по разломам на глубину от сотен метров до нескольких километров. Ширина впадин от 20 до 80 км, длина — от 150 до 500 км. Заполнены они палеоген-четвертичными и частично позднемеловыми, преимущественно континентальными отложениями, а также вулканическими породами различного состава.

Рифтовый процесс в этом районе стал развиваться с середины мелового периода, когда в результате тектонического поднятия образовался протяженный валобразный свод. Затем на северо-западном склоне этого свода началась интенсивная вулканическая деятельность, в результате которой сформировался Охотско-Чукотский вулканогенный пояс. Возникновение рифтовых впадин (грабенов) в осевой части свода произошло несколько позднее. На Пенжинско-Анадырском (северном) «отрезке системы они начали появляться в конце мелового периода, а в кайнозое опускание осевой части свода распространилось на юг, до Удской губы, сопровождаясь новой вспышкой вулканизма по разломам вдоль бортов впадин.

Часть цепи однотипных по строению и развитию молодых тектонических структур, расположенных вдоль северного побережья Охотского моря, скрыта в настоящее время под водами западной части зал. Шелихова. Эта прибрежная цепь относится к зоне высокой сейсмической активности. Со времени землетрясения 1781 г. около Охотска, описанного П. С. Палласом, здесь неоднократно отмечались толчки силой по 5—8 баллов, а с организацией регулярных инструментальных наблюдений в последние десятилетия зафиксированы многочисленные слабые землетрясения. С этой же цепью впадин связан ряд горячих минеральных источников,

непосредственно указывающих на локальные термические аномалии, обусловленные, возможно, общим повышенным тепловым потоком вдоль осевой зоны рифтовой системы.

По своему тектоническому положению Охотско-Анадырская рифтовая система относится к региональной зоне Северо-Востока Азии, разграничивающей, по мнению авторов, древнейшие неоднородности Земли. Скрываясь на востоке под водами Берингова моря, рифтовая система, возможно, продолжается в структурах Северной Америки, где также известны зоны растяжения, положение которых определяется древним тектоническим планом. Юго-западный фланг Охотско-Анадырской рифтовой системы от Удской губы, вероятно, отклоняется на запад, в глубь Азиатского материка, где не исключено его соединение с Байкальской рифтовой зоной.

Таким образом, выделенная рифтовая система может служить связующим звеном между рифтовыми зонами юга Сибири и Северной Америки, составляющими, скорее всего, крупный планетарный пояс вдоль северного обрамления Тихого океана.

«Геология и геофизика», 1980, № 2, с. 11—18.

#### Спелеология

### Пропасть Снежная — самая большая на территории СССР

Во время Первой экспедиции Института географии АН СССР в пропасть Снежную<sup>1</sup> было установлено, что это самая глубокая пещера в нашей стране. В ноябре 1979 — феврале 1980 г. на протяжении 110 суток в пропасти Снежной рабо-

тала. Вторая экспедиция этого института.

Впервые в этой грандиозной пещере исследования велись в зимний сезон. К февралю осадкомер у входа в пещеру зарегистрировал более 6 м выпавшего снега. Однако условия работы в пещере оказались лучше, чем летом. Расход воды в подземной реке сократился более чем вдвое, спелеологов не тревожили ее паводки. Циркуляция воздуха в нижних горизонтах изменилась на обратную: ветер дул снизу вверх. В то же время в верхней части полости (до глубины 500 м) наблюдалась интересная аномалия: здесь сохранилось направление циркуляции, характерное для летнего сезона. Эта аномалия, вероятно, объясняется существованием пока еще не известных более высоко расположенных входов в подземную систему.

Продолжены исследования самых глубоких горизонтов пещеры. Летом 1979 г. головная группа повернула обратно, достигнув глубины 1190 м. Дальнейший путь вниз тогда преградил водопад, получивший название «Олимпийский». Участникам зимней экспедиции удалось спуститься рядом с языком этого водопада. Оказалось, что здесь находится самый большой из известных на сегодня залов пещеры, достигающий в длину 220 м. Струи водопада исчезают среди глыб; теряются в камнях и воды двух ручьев, стекающих со стен зала. Зимой зал совершенно сух. Однако песчано-илистые отложения ясно свидетельствуют, что по крайней мере часть летнего сезона его дно занято обширным озером.

20 дней исследовали зал на дне зала участники головной группы экспедиции в составе А. И. Морозова, Г. В. Людовского и В. В. Ещенко. В результате им вновь удалось выйти в русло подземной реки, но уже через несколько десятков метров путь вниз преградил новый завал. Преодолеть его пока не удалось.

Достигнута глубина 1320 м. По-прежнему Снежная занимает третье место в мире после пропастей Жан-Бернар (1410 м) и Пьер-сен-Мартен (1342 м). Заметим, что в итоге летних экспедиций французских

<sup>1</sup> Подробное описание пещеры Снежной и итогов Первой экспедиции см.: Людовский Г. В., Морозов А. И., Немченко Т. А., Усиков Д. А. Глубочайшая пещера СССР. — «Природа», 1980, № 3.

спелеологов первые две пропасты мира поменялись местами в списке глубочайших. Протяженность исследованных галерей Снежной достигла 9,2 км. По своему объему — около 1,4 млн м<sup>3</sup> — Снежная оказалась и самой большой в СССР, превзойдя известную Новофонскую пещеру, имеющую объем 1 млн м<sup>3</sup>.

Экспедицией проведены новые сборы пещерной фауны. Открыт новый вид ложноскорпиона из рода *Neobisium Blothrus* (определен С. И. Левушкиным). Под руководством Б. Р. Мавлюдова были продолжены наблюдения над подземным ледником. Велись медико-биологические исследования по специальной программе. Участники экспедиции пробыли более 80 суток в экстремальных условиях: в полной темноте, при 100-процентной влажности воздуха, низких температурах, с резко нарушенным суточным ритмом, с тяжелой физической нагрузкой, в постоянном нервном напряжении. Однако специально разработанная система жизнеобеспечения, вобравшая весь многолетний опыт спелеологических экспедиций, позволила всем участникам успешно справиться с задачей.

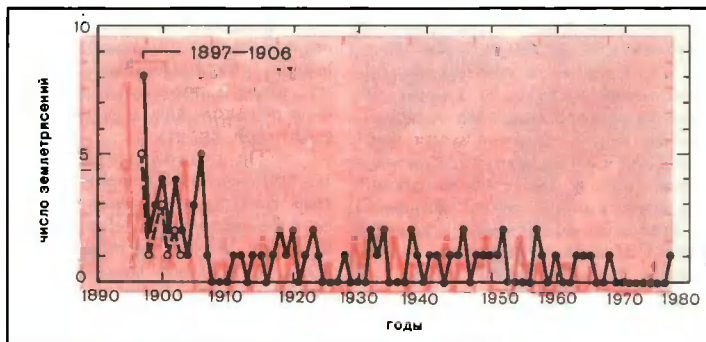
В летний сезон 1980 г. исследования пропасты Снежной были продолжены.

**А. И. Морозов**  
Москва

Сейсмология

## Пересмотрена статистика землетрясений

Судя по имеющимся сейсмологическим данным, конец прошлого и начало нынешнего века отличались повышенной сейсмичностью. Так, между 1897 и 1906 гг. число землетрясений с магнитудой более 8 значительно превышает их число в последнее десятилетие. Однако эти выводы опровергают сейсмологи Х. Канамори (Калифорнийский технологический институт, США) и К. Абе (Хоккайдский университет в Саппоро, Япония). Они указывают, что применявшиеся прежде сейсмографы обычно «зашкаливались» при толчке с  $M > 8$ ,



Ежегодное число землетрясений с магнитудой  $M > 8$ . Черные кружки — принятые ранее магнитуды, белые — пересмотренные (за период 1897—1906 гг.).

поэтому исследователи, вычисляя магнитуду, вынуждены были вводить постоянный поправочный коэффициент, который, по мнению Канамори и Абе, ненадежен.

Авторы установили прибор, аналогичный использовавшимся 80—90 лет назад, «в паре» с современным прибором. За 1977—1978 гг. они зарегистрировали 11 землетрясений с магнитудой от 6,1 до 8,0. Эти и другие измерения позволили найти в вычисленных ранее магнитудах систематическую ошибку, что снизило установленные прежде магнитуды примерно на 0,6. Тем самым было показано, что предполагавшийся до сих пор пик сейсмичности на рубеже XIX и XX веков практически не существовал.

«Science News», 1979, v. 116,  
№ 23, p. 393 (США).

Вулканология

## Новые количественные оценки состава атмосферы

Группа сотрудников Национального центра атмосферных исследований США, возглавляемая Р. Кэдлом, с помощью специально оборудованного самолета-лаборатории изучала химический состав газов, выделяющихся при извержении

Фуэго и других действующих вулканов в Гватемале. Исследователи пришли к заключению, что общепринятая оценка количества двуокиси серы, выбрасываемой в атмосферу всеми вулканами Земли, примерно в 10 раз ниже действительного количества. Только три обследованных ими вулкана ежегодно выделяют в атмосферу около 1 млн т двуокиси серы, что, по прежним оценкам, составляет 10% глобального количества.

Исследователи отвергают также делавшиеся ранее прогнозы относительно влияния вулканизма на озоновый слой земной атмосферы. Большая часть серы, выбрасываемой во время извержения, входит в состав двуокиси серы, которая может вступать в реакции, образуя капли серной кислоты. Так как подобная реакция уменьшает в атмосфере количество радикалов гидроксила, способных разрушить озон, результатом вулканической деятельности, как считает Кэдл, должно быть не убывание, а разрастание озоносферы Земли. Однако при особо интенсивных извержениях озон может и разрушаться благодаря выбросу в воздух больших количеств хлористого водорода.

Сотрудники Университета штата Гавайи (Гонолулу) Б. Зигел и С. Зигел собрали данные, согласно которым содержание ртути в атмосфере над вулканическими областями Гавайских о-вов, Исландии и Антарктиды превышает уровень, установленный в качестве безопасного для людей специальным распоряжением Управления по охране среды США. В среднем по вулканической актив-

ности день воздух над о-вом Гавайи (крупнейшим в одноименном архипелаге) содержит количество ртути, несколько превышающее эту норму, а в период интенсивного извержения оно возрастает более чем на два порядка.

«New Scientist», 1979, v. 82, № 1153, p. 360 (Великобритания).

Геология

**Угледородные газы в земной оболочке**

Л. М. Зорькин, В. Н. Корценштейн, Е. В. Стаднюк, В. Г. Козлов, В. М. Кирьяшкин, Г. А. Юрин и Б. А. Бородкин (Всесоюзный научно-исследовательский институт ядерной геофизики и геохимии и Всесоюзный научно-исследовательский институт природных газов) рассчитали содержание углеводородных газов, растворенных в пластовых водах нефтегазоносных бассейнов на территории СССР.

Количество растворенных газов в водах нефтегазоносных бассейнов различно и зависит от характеристик подземных толщ, интенсивности генерации и рассеивания углеводородов, газоемкости пластовых вод, а также от возраста бассейна. Так, в 1 м<sup>3</sup> пластовой воды палеозойских отложений Урало-Волжского нефтегазоносного бассейна содержится до 1—1,3 м<sup>3</sup> углеводородного газа, Западно-Сибирского бассейна — 2—3 м<sup>3</sup>, а Средне-Каспийского — до 4—5 м<sup>3</sup> газа на 1 м<sup>3</sup>. Максимальная газонасыщенность — 8 м<sup>3</sup> газа на 1 м<sup>3</sup> пластовой воды — зафиксирована в Индоло-Кубанском прогибе.

Суммарные ресурсы растворенных газов нефтегазоносных бассейнов СССР, согласно расчетам авторов, составляют 4 · 10<sup>15</sup> м<sup>3</sup> (это на несколько порядков больше промышленных запасов). Самый большой вклад дают Прикаспийский и Западно-Сибирский бассейны. Причем данные, приведенные авторами, учитывают ресурсы растворенных газов только до глубины 3—4 км (лишь для Прикаспийского бассейна расчеты выполне-

**Ресурсы газов, растворенных в пластовых водах нефтегазоносных бассейнов СССР**

Геологическая структура	Нефтегазоносный бассейн	Возраст вмещающих пород	Запас, трлн м <sup>3</sup>
Восточно-Европейская платформа	Прибалтийский	палеозой	0,01
	Львовский	палеозой	17
	Средне-Русский	палеозой — протерозой	0,3
	Тимано-Печорский	мезозой — палеозой	280
	Припятско-Днепровско-Донецкий	палеозой	57
Сибирская платформа	Прикаспийский	кайнозой — палеозой	980
	Урало-Волжский	палеозой	140
	Иркутский	палеозой — протерозой	32
	Тунгусский	палеозой — протерозой	167
	Приверхоянско-Виллюйский	мезозой — протерозой	355
Западно-Сибирская платформа	Анабаро-Ленский	мезозой — протерозой	59
	Енисей-Хатангский	мезозой — протерозой	132
	Западно-Сибирский	мезозой	1000
	Скифская и Туранская плиты	кайнозой — мезозой	180
	Средне-Каспийский	кайнозой — мезозой	259
Туранская плита	Южно-Каспийский	кайнозой	120
	Кызылкумский	кайнозой — мезозой	44
	Чу-Сарысуйский	кайнозой — мезозой	21
	Каракумский (совместно с Устьуртским)	кайнозой — мезозой	86

ны до глубины 7 км). Поскольку газоемкость пластовых вод возрастает с глубиной, общие ресурсы, по-видимому, значительно больше.

Растворенные газы можно использовать как источник углеводородного сырья, хотя практический опыт здесь пока незначителен (лишь в Японии доля растворенных газов в общей добыче горючих газов достигает 30%). Эта проблема сопряжена с большими инженерными трудностями, но уже сейчас можно ставить вопрос об использовании растворенных газов в так называемых геопрес-

сированных зонах (зонах аномально высокого давления), а также на нефтяных и газовых месторождениях из вод скважин. Следует учесть, что бассейны подземных вод с высоким содержанием углеводородных газов обычно совпадают с бассейнами термальных вод, которые обогащены ценными химическими элементами и зачастую обладают бальнеологическими свойствами. Это говорит о целесообразности комплексной разработки подземных вод нефтегазоносных бассейнов, углеводородное сырье которых практически неисчерпаемо: по неко-

торым подсчетам, глобальные ресурсы растворенных газов осадочной оболочки Земли составляют  $10^{18}$ — $10^{18}$  м<sup>3</sup>.

«Доклады АН СССР», 1980, т. 252, № 3, с. 681—683.

Палеогеография

## Климат Карелии в голоцене

Для определения тенденций климатических изменений и построения возможной модели климата в будущем немаловажное значение имеет восстановление климатических условий прошлого. В. А. Климанова и Г. А. Елина (Центральный научно-исследовательский геолого-разведочный институт цветных и благородных металлов, Москва), используя данные палинологического анализа (спорово-пыльцевые диаграммы), попытались восстановить, каким был климат на территории Карельской АССР в голоцене (8500, 5500 и 3500 лет назад). Палеоклиматические изменения оценивались путем сравнения с современными характеристиками климата, взятыми в основном из климатического атласа СССР.

Около 8500 лет назад природные условия Карелии были более суровыми, чем теперя. Судя по палеоботаническим данным, граница между подзоной северной тайги и лесотундры проходила, по-видимому, на западе Карелии примерно по  $66^\circ$  с. ш., тогда как в настоящее время она проходит на Кольском п-ове. Вдоль побережья Белого моря господствовали березовые леса с примесью сосны. Центральная часть Карелии была занята сосново-березовыми лесами, и только на юге и юго-востоке уже росла ель. Среднегодовые температуры 8500 лет назад были ниже современных в среднем на  $2$ — $4^\circ$  (максимальные отклонения — около  $4^\circ$  — отмечены на юго-востоке территории республики). Количество годовых осадков было близко к современному только в западной части; более чем на 100 мм меньше современного количества выпадало на юго-западном побережье Белого моря

и в юго-восточной части Карелии; в остальных частях осадков выпадало меньше примерно на 50 мм.

Около 5500 лет назад климат стал теплее и влажнее. Граница между средней и южной тайгой проходила по  $65^\circ$  с. ш. В растительном покрове господствовали сосновые леса, к которым примешивалась береза или ель. Юго-восток Карелии уже был занят еловыми лесами. Примесь широколиственных пород была заметной лишь южнее  $63^\circ$  с. ш. Среднегодовые температуры наиболее значительно отличались от современных (на  $2$ — $3^\circ$ ) на западе и северо-западе Карелии. Средняя температура января была выше современной на  $1$ — $2^\circ$ . Количество годовых осадков примерно на 50 мм меньше, чем в настоящее время, а в северной половине — почти на 100 мм больше.

Около 3500 лет назад климат также был теплее и влажнее современного, но все же прохладнее и несколько суше, чем 5500 лет назад. В растительном покрове господствовали сосново-еловые и еловые леса, в которых значительно уменьшилась примесь широколиственных пород. Среднегодовые температуры были выше современных в районе Топозера примерно на  $2^\circ$ , а в средней части Карелии — на  $1^\circ$ . Почти по всей территории выпадало 500—600 мм осадков в год, однако по сравнению со временем 5500 лет назад их количество в восточной части было меньшим на 50—75 мм.

«Доклады АН СССР», 1980, т. 252, № 2, с. 419—423.

### Антропология

## Новый взгляд на ископаемых гоминид

Среди выдающихся палеоантропологических и археологических открытий в Восточной Африке за последние 20 лет (Олдувайское ущелье, долина р. Омо, район оз. Туркена и др.)<sup>1</sup> все более присталь-



Верхняя челюсть и зубы австралопитека афарского (в центре), современного нам шимпанзе (вверху) и человека (внизу).

ное внимание привлекают находки ископаемых гоминид в северо-восточной Эфиопии. Начиная с 1973 г. раскопки в районе Хадара (депрессия Афар), расположенной в 600 км от Аддис-Абебы, вела американско-французско-эфиопская экспедиция под руководством американского антрополога Д. К. Джохансона (Кливлендский музей естественной истории, штат Огайо). Абсолютный возраст речных и озерных отложений, в которых были обнаружены скелетные остатки, составляет, по данным калий-аргонового анализа, 3,3—2,9 млн лет<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Johanson D. C., Coppen J., Taieb M. Pliocene Hominid Remains from Hadar, Central Afar, Ethiopia.—9<sup>th</sup> Congress of the Union International des Sciences préhistoriques et protohistoriques, Nice, 1976». P., 1976.

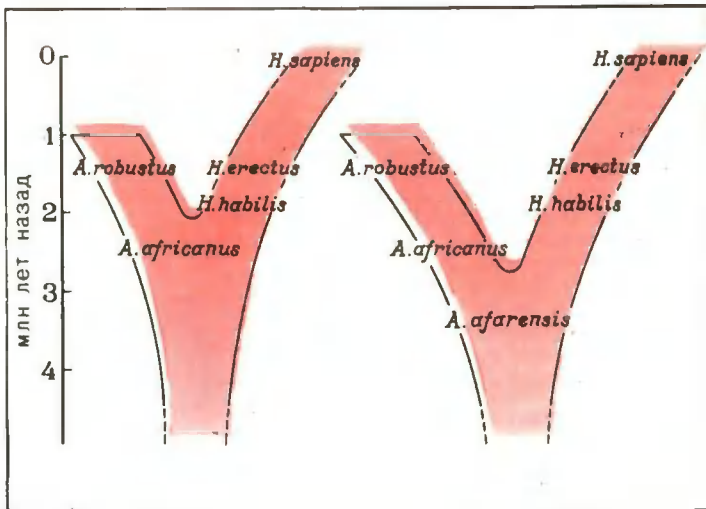
<sup>2</sup> Урысон М. И. Люди или животные? — «Природа», 1973, № 1.



В 1973 г. здесь были найдены фрагменты правой и левой бедренных костей, большой берцовой кости и часть левой височной кости черепа. Среди находок 1974 г. — фрагменты нижней и верхней челюстей, бедренных костей, полная верхняя челюсть с 16 зубами, 3 изолированных зуба и, главное, почти полный скелет женской особи (65 костей). Это один из тех редких случаев, а может быть, единственный в истории исследования ископаемых гоминид столь большой древности, когда в руки антропологов попадает не какой-то отдельный фрагмент, а скелет, представленный основными его элементами. В полевые сезоны 1975, 1976—1977 гг. экспедицией найдено еще 196 новых палеоантропологических объектов из 13 местонахождений. Общее количество остатков ископаемых гоминид, обнаруженных в Афаре, составило 316, они относятся не менее чем к 35 индивидам.

Подробно афарские материалы еще не исследованы и публикации, посвященные им, носят сугубо предварительный характер. И все же некоторые предположения специалисты уже могут сделать. В частности, авторы открытия указывают на большое сходство обнаруженных фрагментов с грацильными формами австралопитековых из южноафриканских пещер Стеркфонтейн и Макапансгат (относительно крупные резцы и клыки, сравнительно небольшие коренные зубы и другие общие признаки). Исходя из этого, авторы отнесли большинство найденных фрагментов к виду *Australopithecus africanus*, подчеркивая вместе с тем, что по ряду особенностей афарские формы более примитивны, чем типичные южноафриканские представители этого вида. Некоторые из афарских форм авторы склонны отнести к роду *Homo*, хотя сколько-нибудь убедительных аргументов в пользу этого не приводят. Следует добавить, что в горизонтах с костными остатками нигде каменных орудий не обнаружено, что в еще большей степени лишает убедительности подобное предположение.

Недавно Д. К. Джохансон совместно с другим американским антропологом Т. Д. Уайтом выступили с новой интерпрета-



Две схемы генеалогического древа человека: слева — принятая ранее, справа — предложенная ныне Д. К. Джохансоном и Т. Д. Уайтом.

(Фото и схема взяты из журнала «Science News», 1979, v. 115, № 3, p. 36.)

цией афарских находок<sup>3</sup>, которая основана на сравнении их с костными остатками, обнаруженными еще в 1974—1975 гг. экспедицией М. Лики в Танзании. Там (урочище Летолил в 45 км от Олдувайского ущелья), в слоях с абсолютным возрастом от 3,35 до 3,75 млн лет, были найдены 13 фрагментов верхних и нижних челюстей, а также много изолированных зубов. Лики отнесли эту находку к непосредственным предкам человека, роду *Homo*, самым существенным образом отличающемуся от *Australopithecus africanus*. По мнению Джохансона и Уайта, между летолилскими и афарскими формами существует поразительное сходство. Из этого они заключают, что и те и другие относятся к одному виду, причем, в отличие от своей первоначальной оценки, устанавливают новый вид — *Australopithecus afarensis*. Учитывая крайнюю примитивность и значительную древность

остатков, авторы полагают, что этот вид австралопитековых был исходной предковой формой, давшей начало как всем более поздним австралопитековым (грацильным и массивным), так и эволюционной линии, ведущей к человеку (через *Homo habilis*, см. схему).

Эта новая интерпретация афарских находок уже вызывает споры. Во-первых, возникает вопрос, можно ли объединять в один вид формы, столь сильно разобщенные территориально (северо-восточная Эфиопия и Танзания) и хронологически (летолилские находки по крайней мере на 0,5 млн лет древнее афарских). Во-вторых, неясно, столь ли велики отличия афарских и летолилских форм от уже известных форм грацильных австралопитековых, чтобы оправдать создание нового вида, отграниченного от *Australopithecus africanus* не только морфологически, но и филогенетически.

Очевидно, дальнейшие исследования этих замечательных находок внесут большую ясность в запутанный клубок вопросов, имеющих принципиально важное значение для исследования самых ранних этапов эволюционной истории человека.

М. И. Урысон,  
кандидат биологических наук

НИИ и Музей антропологии  
им. Д. Н. Анучина МГУ  
Москва

<sup>3</sup> Johanson D. C., White T. D. «Science», 1979, v. 203, № 4378.





## К выходу первых томов «Географии Мирового океана»

Н. А. Гвоздецкий,  
доктор географических наук  
Москва



ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ МИРОВОГО ОКЕАНА. Сер. «География Мирового океана». Гл. ред. К. К. Марков. Л., «Наука», 1980, 362 с.

В № 3 журнала «Природа» за 1975 г. была опубликована статья К. К. Маркова «География океана», в которой высказывались принципиальные соображения о предмете изучения географии океана и раскрывался замысел создания капитального шеститомного труда. В настоя-

щее время этот замысел реализуется. Два первых тома уже вышли в свет, два следующих находятся в печати. Инициатор издания К. К. Марков является его главным редактором.

Перед нами один из двух первых «общих» томов — «Физическая география Мирового океана» (предыдущий том посвящен экономической географии). Рецензируемая книга состоит из десяти глав, которым предпослано краткое введение (его название «Вопросы физической географии океана» почему-то опущено в оглавлении). В этом введении раскрывается основное содержание физической географии океана — исследование планетарных общегеографических закономерностей в пределах океаносферы, т. е. океанического пространства географической оболочки, занимающего 70,8% ее площади, а также покомпонентных физико-географических закономерностей, присущих собственно океаносфере. Исследуя разные аспекты океаносферы, физическая география океана дает синтез знаний об океане как о природном пространственном комплексе для сохранения и улучшения его природы и повышения продуктивности. В этом заключается главная научная задача данной отрасли знания. В заключительной части введения намечаются основные направления исследований физической географии океана.

Глава I посвящена истории географических открытий в океане, включая океанологические открытия XX в. В главе II рассматриваются вопросы происхождения и геологической истории Мирового океана, ос-

вещаются проблемы формирования его вод, происхождения и развития органической жизни в океане. В главе III говорится о физических (геофизических) полях Земли в океане — гравитационном, геомагнитном, геотермальном. Разносторонней характеристике вод, как важнейшему компоненту океанического пространства, а затем и климата океана посвящены главы IV и V, а шестая глава — дну океана и его берегам.

Специфическим для географии океана является рассмотрение океанических островов (глава VII). На основании генезиса островных ландшафтов выделяются четыре ландшафтных типа островов — биогенные (атоллы, коралловые рифы и мангровые), вулканические, геосинклинальные и материковые. Флора и фауна островов разделяются на океанический и континентальный типы. Рассматриваются вопросы зональности островной суши и влияния человека на островные ландшафты.

Рассмотрению различных закономерностей распределения жизни в океане посвящена следующая, восьмая, глава, а в девятой главе география океана освещается с позиций системного подхода с построением системно-географической модели пространственной структуры океана. Последний краткий, но принципиально важный раздел о единстве и многообразии океана служит как бы связующим звеном между данной главой и следующей — «Физико-географическое районирование Мирового океана». Эта специфически географическая проблема рассматривается в нескольких аспектах. Разделение Мирового океана на отдельные океаны вы-

полнено с решением дискуссионного вопроса о Южном океане в пользу его существования. Вертикальное (глубинное) расчленение (термин «районирование», с. 316, в данном случае не правомерно) произведено с выделением двух слоев — теплого верхнего и холодного нижнего, т. е. океанических «тропосферы» и «стратосферы». Собственно районирование, помимо обособления пяти океанов, включает выделение географических поясов и комплексное деление Мирового океана «на крупнейшие физико-географические районы» и барьерные (пограничные и прибрежные) морские зоны. Последняя схема интересна и дает важный материал для районирования океана, но принцип районирования в ней до конца еще не выдержан, поскольку региональный подход в ней сочетается с типологическим.

Заключение к книге, как отмечает его автор, является заключением к обоим первым томам многотомного издания — физико-географическому и экономико-географическому, дающим полную географическую характеристику Мирового океана. В нем подчеркивается комплексный географический и глобальный характер всего издания, высказываются некоторые дополнительные соображения о районировании Мирового океана. Заключение к книге служит как бы введением к следующим, региональным томам.

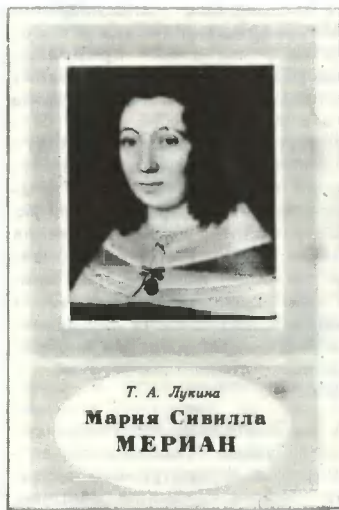
Книга иллюстрирована 81 рисунком в тексте и 11 цветными картами.

Рецензируемый труд основан на обобщении новейшего фактического материала, полученного географами и океанологами во время многолетней работы на научно-исследовательских судах. Наряду с вопросами, которые освещаются в океанологических работах, в нем глубоко рассмотрены специфически географические проблемы, касающиеся островных ландшафтов, мировой географической зональности, районирования и пр. Полнота и свежесть фактического материала, новизна идей, комплексность географической характеристики Мирового океана — основные достоинства этой книги.

## Об удивительной художнице-натуралистке

Д. В. Лебедев

Ленинград



Т. А. Лукина. МАРИЯ СИБИЛЛА МЕРИАН. 1647—1717. Л., «Наука», Науч.-биогр. сер., 1980, 207 с.

Несколько лет назад в «Природе» была опубликована статья, посвященная ленинградской коллекции акварелей знаменитой немецкой художницы и натуралистки Марии Сибиллы Мериан<sup>1</sup>.

Эта замечательная женщина отличалась в высшей степени отчетливым художественным видением многокрасочности и многообразия окружающего ее мира и умением с по-

разительной точностью воспроизводить его средствами живописи и гравирования. В то же время она была прирожденным естествоиспытателем, тонким наблюдателем явлений живой природы, прежде всего излюбленных ею растений и насекомых. Гармоническое сочетание этих двух талантов многие годы привлекает к Мериан внимание как историков изобразительного искусства, так и историков биологии.

Особый же интерес к ней со стороны советских исследователей определяется тем, что, благодаря Петру I, восхищенному рисунками Марии Сибиллы Мериан, значительная часть ее художественного наследия оказалась в России. Более того, в Петербург на службу в Академию наук переехали ее дочь и зять, создавшие здесь целую школу рисовальщиков.

Дополнительным стимулом к изучению творчества Марии Сибиллы Мериан в самое последнее время явилось издание в 1974—1976 гг. по соглашению между Академией наук СССР и издательством «Эdition «Лейпциг» четырех великолепных альбомов, содержащих факсимильные репродукции хранящихся в Ленинграде акварелей Мериан, а также находящегося здесь ее рукописного энтомологического труда, именуемого «Ленинградским альбомом». Выпуск этих книг стал событием не только для историков искусства и биологии, но и для историков полиграфического дела.

В рецензируемой книге, явившейся результатом многолетнего труда Т. А. Лукиной, известной ленинградской исследовательницы в области истории отечественной науки, по существу подведены итоги всех работ, посвященных Марии Сибилле Мериан. Создается впечатление, что Т. А. Лукина не оставила вне поля своего внимания ни одного вопроса, относящегося к «мериановедению», и на все эти вопросы дала исчерпывающие ответы. Вероятно, на самом деле это не так; кое-что осталось и будущим исследователям. Но вряд ли когда-нибудь будет достигнута такая адекватность поистине филигранного исследования, прове-

<sup>1</sup> Лукина Б. В. Рисунки Марии Сибиллы Мериан. К истории научно-художественных коллекций Академии наук СССР. — «Природа», 1976, № 9.

денного автором монографии, филигранному художественному творчеству героини ее повествования. Ощущение ювелирности работы Т. А. Лукиной не оставляет читателя от первой страницы проникновенного предисловия до последней страницы образцового справочного аппарата.

На какие же вопросы ответила автор книги?

Прежде всего, Т. А. Лукина нарисовала жизненный путь героической женщины, бывшей не только одной из первых в мире художниц-профессионалов, но и одной из первых путешественниц. Детство и юность в семье франкфуртского гравера и издателя, овладение искусством живописи, увлечение насекомыми, начало профессиональной деятельности в художественно-прикладной области, жизнь в Нюрнберге, первые книги, переезд в Амстердам, полное опасностей путешествие вместе с дочерью в Суринам, первооткрытие мира насекомых Южной Америки, триумфальное возвращение, работа над книгой «Метаморфозы суринамских насекомых» и над вторым изданием «Книги о гусеницах» — описание всего этого дано на широком фоне современной художнице общественно-культурной жизни, включая научные и религиозные течения, которые в разное время оказывали влияние на творчество Мериан. Для этого автору пришлось поднять обширные пласты малоизученных материалов, а иногда и труднодоступных, преимущественно на немецком, латинском и голландском языках. Сотни имен ученых, художников, теологов, политиков, писателей, философов, коммерсантов, издателей, путешественников сопровождают жизнеописание Мериан, не усложняя его, а делая понятнее, яснее становление художницы и натуралистки.

Далее Т. А. Лукина анализирует вклад Марии Сибиллы в историю научной иллюстрации и одновременно в историю энтомологии — той биологической дисциплины, которой она посвятила всю свою жизнь, заполненную неустанным трудом. Особенное значение имело изучение ею метаморфоза насекомых, причем к идее метаморфо-

за она пришла независимо от крупнейшего биолога XVII в. Яна Сваммердама, научные и религиозные представления которого оказали большое влияние на Мериан. Кроме того, она заслуженно считается первооткрывательницей энтомофауны Латинской Америки. Привезенные ею из Суринама коллекции, описания и рисунки насекомых, опубликованные впоследствии в последствии «Метаморфозы» — все это послужило началом продолжающегося до сих пор изучения необыкновенно богатого мира этого района Земли.

Но весьма велики заслуги Марии Сибиллы Мериан и в изучении флоры этой страны. Начав свою профессиональную деятельность с изображения цветов, она никогда не забывала растений; почти всегда присутствующих на ее акварелях наряду с насекомыми или другими животными и всегда изображенных столь же точно и красочно.

Тщательно прослеживает Т. А. Лукина судьбы художественного и литературного наследия Марии Сибиллы Мериан, миграцию ее рисунков и рукописей, посмертные публикации ее трудов, рассказывает о тех художниках XVIII—XX вв., которые продолжали традиции героини книги. Показано, что созданный Мериан тип энтомологических изданий получил широкое распространение. Художник из послушного исполнителя воли энтомолога, из пассивного иллюстратора, ставился подлинным соавтором, а иногда и основным, главным автором книги, привлекавшим ученого в качестве комментатора. Т. А. Лукина анализирует также ту критику, которой подверглись труды Марии Сибиллы Мериан впоследствии, указывая, что многие критики подходили к ее творчеству с позиций своего времени, не учитывая того уровня науки, на котором находилась наука в XVII в., и забывая о том, что Мериан в области биологии была самоучкой.

Специально рассмотрен в монографии вопрос о той связи, которая возникла у Мериан, правда уже после ее смерти, с Россией. Подробно изложена история публикации «Ленинградских акварелей» и «Ленин-

градского альбома», дана характеристика этих уникальных изданий, в которых соединилось мастерство художницы XVII в. с высочайшим уровнем полиграфической техники третьей четверти XX в.

В конце книги помещен перечень обстоятельно описанных и прокомментированных портретов Мериан, исполненных в XVII—XX вв. Далее напечатан список основных дат ее жизни и деятельности, а вслед за ним «Источники и библиография». Для первого раздела этого библиографического указателя, в котором описаны произведения Мериан, находящиеся в СССР — в библиотеках и в частных коллекциях, было обследовано свыше 50 универсальных и специальных книгохранилищ нашей страны. Указано местонахождение книг, охарактеризованы отдельные экземпляры (экслибрисы, переплет и т. п.). Всего учтено 34 книги и 8 отдельных воспроизведенных рисунков и гравюр. Второй раздел посвящен специальным работам о Марии Сибилле Мериан, в нем учтены 42 работы. Третий раздел, в котором описана «общая литература», использованная автором, насчитывает 163 названия. Этот последний раздел наглядно иллюстрирует широту автора, тот размах, с которым Т. А. Лукина пошла к своей задаче.

В справочный аппарат книги включен также список черновых иллюстраций и 32 цветных репродукции акварелей Мериан, находящихся в Ленинградском отделении Архива АН СССР и в библиотеке Ботанического института им. В. Л. Комарова АН СССР (некоторые из них воспроизведены в книге Т. А. Лукиной). Завершается книга указателем имен.

Выше мы уже говорили о филигранности работы Т. А. Лукиной. Тщательная отделе деталей, строгая документированность каждого выдвигаемого положения, многочисленность упоминаемых имен совершенно не мешают восприятию целого — образа высоко одаренной, исключительно трудолюбивой и смелой женщины, прожившей далеко не легкую жизнь, целиком посвященную искусству и науке.

Физика

Д.-Э. Либшер. ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ С ЦИРКУЛЕМ И ЛИНЕЙКОЙ. Пер. с нем. В. Е. Меркевича под ред. Н. В. Мицкевича. М., «Мир», 1980, 148 с., ц. 35 к.

Частная теория относительности — основа физического учения о пространстве, времени и движении. Согласно этой теории, мы живем не в трехмерном пространстве, к которому присоединяется понятие времени, а в четырехмерном, где пространственные и временная координаты неразрывно связаны друг с другом и равноправны. Хотя геометрия четырехмерного пространства-времени и весьма своеобразна из-за необычного поведения временной координаты, тем не менее она похожа на евклидову. Книга ученого из ГДР Д.-Э. Либшера — попытка описать теорию относительности с помощью более наглядной и привычной евклидовой геометрии и геометрии пространства-времени обычной ньютоновой механики. Автором использован интересный математический аппарат, опирающийся на проективную геометрию. В книге дан наглядный, но от этого не менее строгий вывод таких релятивистских эффектов, как замедление хода часов, эффект Доплера, парадокс близнецов и т. д. Строгость изложения в сочетании с изящной простотой построений делают эту книгу привлекательной как для физиков и математиков, так и для широкого круга людей, желающих понять суть и тонкости частной теории относительности.

География

Альпы — КАВКАЗ. Современные проблемы конструктивной географии горных стран. Научные итоги франко-советских полевых симпозиумов в 1974 и 1976 гг. М., «Наука», 1980, 325 с., ц. 4 р. 40 к.

География развивалась в СССР и во Франции далеко не

одинаковыми путями. Поэтому «очная ставка» различных разработанных в этих двух странах концепций, подходов и методов особенно полезна. Два франко-советских полевых симпозиума были посвящены географическим проблемам горных стран, которые рассматривались на примере Французских (Западных) Альп и Центрального и Западного Кавказа. В этих симпозиумах, так же как и в явившейся их итогом книге «Альпы — Кавказ» принимали участие видные ученые как с советской стороны, так и с французской. Монография распадается на три основные части: раздел, посвященный французским Альпам (природа и использование естественных ресурсов), раздел, посвященный Кавказу (общий обзор, природа, использование естественных ресурсов), а также раздел, освещающий научные итоги двух проведенных симпозиумов.

География

В. Т. Жуков, С. Н. Сербенюк, В. С. Тикунов. МАТЕМАТИКО-КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ГЕОГРАФИИ. М., «Мысль», 1980, 224 с., ц. 1 р.

В наше время прогресс картографии тесно связан с применением электронно-вычислительных машин и другой автоматике. За последние годы сформировалась так называемая ЭВМ-картография, во многом уже заменившая традиционные методы картографического производства. Наряду с этим ЭВМ обусловили разработку и использование сложных математических моделей, естественно и органично сочетаясь с моделями картографическими. Данная монография, с одной стороны, подводит некоторые итоги развития математико-картографического моделирования в СССР, а с другой, — призвана стимулировать его дальнейшее развитие и внед-

рение в массовые географические исследования. Первые четыре главы книги посвящены отдельным типам моделей (корреляционные, регрессионные, факторные и таксономические модели), а последняя, пятая глава затрагивает вопросы автоматизации самих процессов математико-картографического моделирования. В заключение авторы подчеркивают, что математико-картографическое моделирование уже нашло себе применение, притом не только в научных исследованиях, но и в народнохозяйственной практике.

Философия естествознания

В. П. Казарян. ПОНЯТИЕ ВРЕМЕНИ В СТРУКТУРЕ НАУЧНОГО ЗНАНИЯ. М., Изд-во МГУ, 1980, 176 с., ц. 85 к.

В книге анализируются представления о времени, содержащиеся в хорошо математизированных научных теориях, слабо математизированных теориях и на эмпирическом уровне познания. В результате этого анализа становится ясно, что развитие различных естественных наук вносит существенный вклад в понимание времени, открывая новые черты одной из фундаментальных характеристик объективных процессов. Автор также показывает, что конкретные науки опираются при этом на знание свойств времени, которое фиксируется в других областях человеческой культуры, в том числе и в философии. Книга рассчитана на всех, кто интересуется философскими проблемами современной науки.

Методология науки

СИСТЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ. Ежегодник, 1979, М., «Наука», 1980, 384 с., ц. 1 р. 60 к.

Системные исследования развиваются в СССР вот уже бо-

лее 20 лет. В 1976 г. был создан Всесоюзный научно-исследовательский институт системных исследований (ВНИИСИ), под эгидой которого впервые выходит очередной (11 по счету) ежегодник «Системные исследования». Это издание призвано объединить усилия теоретиков и практиков системных исследований в самых различных областях науки и техники. В сборнике около двух десятков статей, распределенных по четырем разделам. Первый — «Методологические проблемы системного подхода и системного анализа» — открывается статьей Д. М. Гвишиани «Материалистическая диалектика — философская основа системных исследований». Второй раздел носит название «Методы моделирования в системном анализе», третий — «Системный подход к исследованию науки», четвертый — «Из истории системных идей».

#### История науки

Б. Н. Мазурмович, Ю. И. Полянский, ВАЛЕНТИН АЛЕКСАНДРОВИЧ ДОГЕЛЬ. 1882—1955. Отв. ред. Л. Я. Бляхер. М., «Наука», сер. «Научно-биографическая литература», 1980, 176 с., ц. 30 к.

В книге рассказывается о жизни, научной, общественной и педагогической деятель-

ности выдающегося советского биолога В. А. Догеля, работы которого в области зоологии беспозвоночных, паразитологии, протистологии, эволюционной морфологии и истории биологии получили большую известность. Авторы рассказывают об особенностях кропотливого труда ученого, его целях в науке. В. А. Догель выявил закономерности, управляющие созданием общего состава паразитофауны различных животных, определил причинную связь между динамикой паразитофауны животного-хозяина и различными факторами внешней среды, с одной стороны, и изменениями экологии и физиологии хозяина, — с другой. Значение этих закономерностей весьма важно при выработке мер борьбы с паразитарными заболеваниями животных и человека. В. А. Догель внес также значительный вклад в изучение закономерностей эволюции и др.

Авторы подчеркивают размах исследовательской работы В. А. Догеля, пространственный диапазон его изысканий, его чуткое отношение к ученикам и сотрудникам.

#### История науки

А. Б. Дитмар. ГЕОГРАФИЯ В АНТИЧНОЕ ВРЕМЯ. (Очерки развития физико-географических идей.) М., «Мысль», 1980, 150 с., ц. 1 р. \*

По мнению В. И. Вернадского, история науки должна пересоставляться каждым новым поколением. На основе анализа античных источников и критического рассмотрения историко-географической, историко-философской и историко-экономической литературы автор книги заново прослеживает сложный путь развития физико-географических идей в античности. Выделяются сопоставимые с историческими эпохами этапы развития географической мысли, что позволило выявить их определенную преемственность и закономерность. В книге показано, как многие античные идеи были унаследованы средневековыми арабскими, армянскими и западноевропейскими учеными и получили дальнейшее развитие в научных трудах Нового времени. Особый интерес представляет та часть книги, где разбираются попытки географического районирования ойкумены античными учеными, а также представления античных ученых о процессах, изменяющих поверхность Земли (теория постепенного высыхания морей, идея вечной борьбы между морем и сушей и т. д.). Книга иллюстрирована многочисленными картами, таблицами и чертежами.

Художник П. Г. АБЕЛИН  
Художественные редакторы:  
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Корректоры:  
Т. М. АФОНИНА, Т. Д. МИРЛИС

Адрес редакции:  
117049 Москва, В-49,  
Мароновский пер., 26.  
Тел. 238-24-56, 238-26-33.

Сдано в набор 29.07.80  
Подписано к печати 17.09.80  
Т-16327  
Формат бумаги 70×100 1/16.  
Офсет  
Усл.-печ. л. 10,4 Уч.-изд. л. 14,9.  
Бум. л. 4  
Тираж 85 000 экз. Зак. 1934

Чеховский полиграфический комбинат Союзполиграфпрома Государственного комитета СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. г. Чехов Московской области.







Цена 50 коп.  
Индекс 70707

