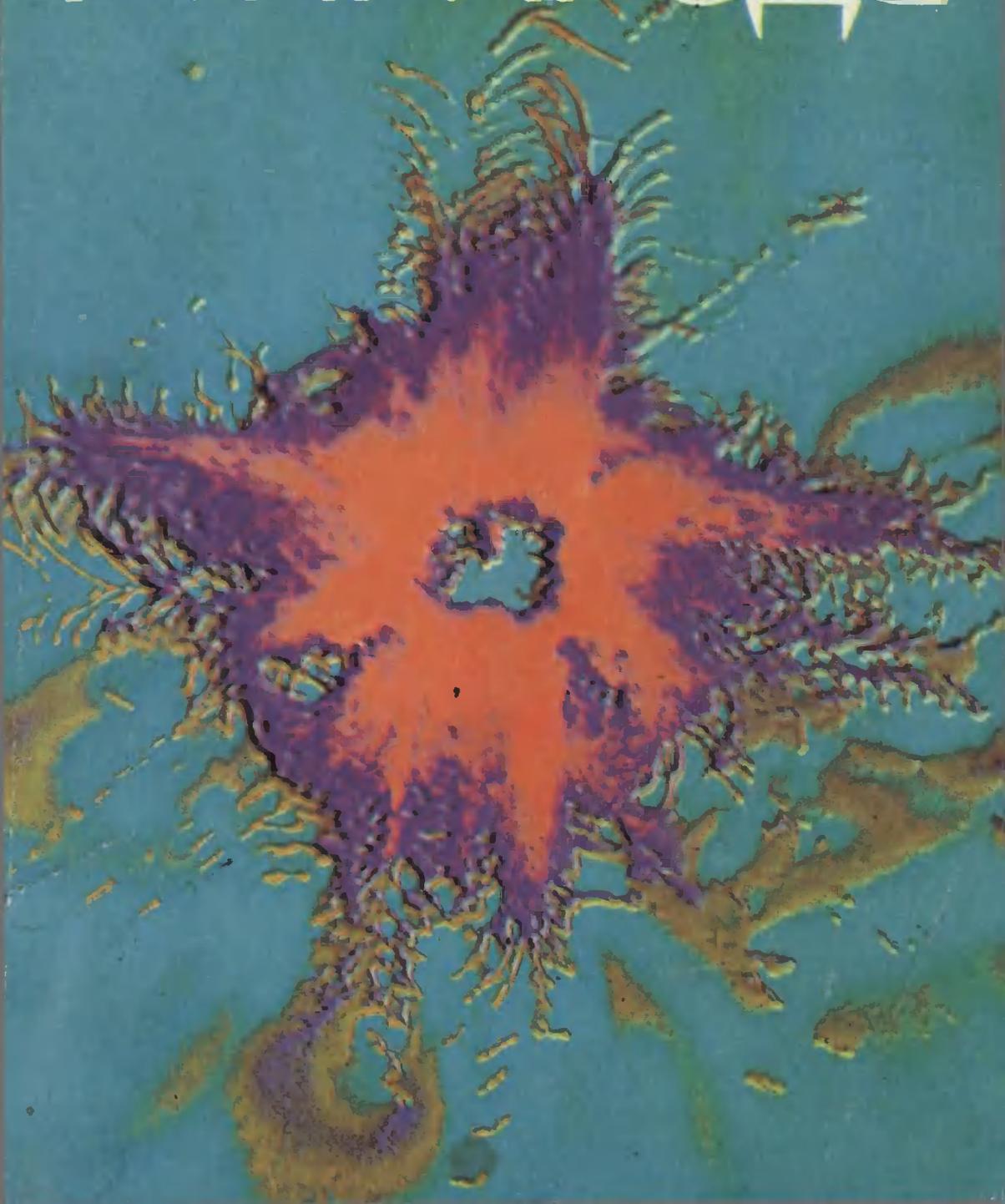


ISSN 0032-074X

# 1 ПРИРОДА

1983



# ПРИРОДА

Ежемесячный  
популярный  
естественнонаучный  
журнал  
Академии наук СССР

Основан в 1912 году



## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор  
академик  
Н. Г. БАСОВ  
Заместитель главного редактора  
кандидат физико-математических наук  
А. И. АНТИПОВ  
Доктор физико-математических наук  
Академик  
Д. К. БЕЛЯЕВ  
Член-корреспондент АН СССР  
Р. Г. БУТЕНКО  
Доктор географических наук  
А. А. ВЕЛИЧКО  
Член-корреспондент АН СССР  
В. А. ГОВЫРИН  
Член-корреспондент АН СССР  
И. Р. ГРИГУЛЕВИЧ  
Член-корреспондент АН СССР  
Г. А. ЗАВАРЗИН  
Член-корреспондент АН СССР  
В. Т. ИВАНОВ  
Доктор физико-математических наук  
Н. П. КАЛАШНИКОВ  
Доктор физико-математических наук  
С. П. КАГИЦА  
Академик  
Б. М. КЕДРОВ  
Доктор физико-математических наук  
И. Ю. КОБЗАРЕВ  
Кандидат физико-математических наук  
А. А. КОМАР  
Академик  
Н. К. КОЧЕТКОВ  
Доктор геолого-минералогических наук  
И. Н. КРЫЛОВ  
Доктор философских наук  
Н. В. МАРКОВ  
Доктор экономических наук  
В. А. МЕДВЕДЕВ  
Ответственный секретарь  
В. М. ПОЛЫНИН  
Доктор исторических наук  
П. И. ПУЧКОВ  
Заместитель главного редактора  
член-корреспондент АН СССР  
Ю. М. ПУЩАФОРОВ  
Доктор философских наук  
Ю. В. САВВИН  
Заместитель главного редактора  
доктор биологических наук  
А. К. СКВОЦКОВ  
Академик АН СССР  
А. А. СОЗИНОВ  
Академик  
В. Е. СОКОЛОВ  
Доктор геолого-минералогических наук  
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора  
кандидат технических наук  
А. С. ФЕДОРОВ  
Заместитель главного редактора  
член-корреспондент АН СССР  
Л. П. ФЕОКТИСТОВ  
Член-корреспондент АН СССР  
В. Е. ХАИН  
Член-корреспондент АН СССР  
Р. Б. ХЕСИН  
Доктор физико-математических наук  
А. М. ЧЕРЕПАЩУК  
Доктор физико-математических наук  
В. А. ЧУЯНОВ  
Академик  
В. А. ЭНГЕЛЬГАРТ

На первой странице обложки. Розетка микрокатолюминисценции в кристалле окиси магния, возникающая в месте внедрения острия в поверхность кристалла. См. в номере: Рожанский В. Н. Междоузельная пластичность кристаллов.

На четвертой странице обложки. Синоптические вихри в Атлантическом океане. Снимок сделан космонавтами Г. М. Гречко и Ю. В. Романенко с борта станции «Салют-6» с высоты 350 км. См. в номере: Мониин А. С., Сеидов Д. Г. Погода и климат океана.

## В НОМЕРЕ

Высокий долг советских ученых	2
Басов Н. Г. Лазерный термоядерный синтез	4
Шадрин Л. Н. Бурение на подступах к мантии	12
Шереметьева В. А., Горшков В. А., Медников Б. М. Молекулярная история коряков Камчатки	23
Монин А. С., Семдов Д. Г. Погода и климат океана	34
Понтекорво Б. М. Детство и юность нейтринной физики: некоторые воспоминания	43
Сузюмов А. Е. Атлантическая программа завершена (82-й рейс «Гломара Челленджера»)	58
Салин Ю. С. Судьба вернеровской «луковицы»	60
Геодакян В. А. Эволюционная логика дифференциации полов и долголетие	70
Гречкин Н. П. Редкий портрет А. М. Бутлерова	81
Формозов А. А. Первый опыт комплексного исследования памятников первобытной культуры в России	82
<b>ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 1982 ГОДА</b>	
Мигдал А. А. По физике — К. Вильсон	90
Киселев Н. А., Мирзабеков А. Д. По химии — А. Клуг	94
Юдаев Н. А., Пивницкий К. К. По медицине — С. Бергстрем, Б. Самуэльссон и Дж. Вейн	96
<b>НОВОСТИ НАУКИ</b>	100

Запуски космических аппаратов в СССР (август — октябрь 1982 г.) • «Салют-7» с августа по октябрь • Ледяные «морщины» Энцилада • Вихри в атмосфере Сатурна • Состав древней коры Венеры • Новый активный элемент спектроскопии • Междоузельная пластичность кристаллов • Магнитное поле лазерного факела • Водородные кластеры для управляемого ядерного синтеза • Аномальное уменьшение скорости звука в сверхрешетках • Лазеры в фотолитографии • Прогнозирование каталитической активности окисных систем • Советский бактериальный интерферон • Генная инженерия помогает исследовать сифилис • Полная аминокислотная последовательность зрительного родопсина • Интерферон защищает лейкоциты человека от быстрых нейтронов • Полимер восстанавливает кровообращение у собак при сильной потере крови • Участвуют ли вирусы в развитии шизофрении? • Клетки рака у мышей сохраняют способность к дифференцировке • Бактерии накапливают серебро • Роль митохондрий в развитии рака • Управление физиологическими функциями методом обратной связи • Как котята находят свой дом • Нетравмирующее мечение дельфинов • Хищничество летучих мышей и звуковые сигналы амфибий • Групповое поведение акул • О древности прямохождения • Редкие древние рыбы • Загрязнение Северного моря • Современные движения Курильских островов • Мощност литосферы на территории СССР • Обнаружены позднепротерозойские каньоны • Падение метеоритов и образование континентов • Удивительный каолин • Кольцеобразные течения у западного побережья США • Полярные шапки сокращаются, уровень океана растет • Кислотность льда в Арктике • «Ледяные извержения» • Сильнейшее землетрясение Кавказа

## РЕЦЕНЗИИ

Ширков Д. В. Портрет с близкого расстояния (на кн.: Григорьев В. И. Рем Викторович Хохлов)

120

## НОВЫЕ КНИГИ

122

Кононович Э. В. Солнце — дневная звезда • Смолицкая Г. П., Горбаневский М. В. Топонимия Москвы • Султанов Т. И. Кочевые племена Приаралья в XV—XVII вв. (Вопросы этнической и социальной истории) • Шелищ П. Б. Динамика науки • Визгин В. П. Генезис и структура квалитативизма Аристотеля • Русские письменные и устные традиции и духовная культура (по материалам археографических экспедиций 1966—1980 гг.)

## В КОНЦЕ НОМЕРА

«Мир видит Дубну глазами Туманова»

124

## Высокий долг советских ученых

«Вся страна работает сейчас над выполнением Продовольственной программы, — говорил на совместном торжественном заседании ЦК КПСС, Верховного Совета СССР и Верховного Совета РСФСР, посвященном 60-летию образования Союза ССР, Генеральный секретарь ЦК КПСС товарищ Ю. В. Андропов. — В ней ясно определены конкретные задачи для всех союзных республик. И каждой из них предстоит основательно потрудиться, чтобы внести реальный вклад — причем уже в ближайшее время — в важнейшее дело бесперебойного снабжения советских людей продовольствием.» Претворение в жизнь Продовольственной программы, принятой на майском (1982 г.) Пленуме ЦК КПСС, позволит еще более повысить благосостояние нашего народа и рассматривается как кровное дело каждым советским человеком.

Современная аграрная политика партии берет начало с мартовского (1965 г.) Пленума ЦК КПСС. Она получила свое развитие на XXIII, XXIV, XXV и XXVI съездах КПСС, Пленумах ЦК. Ее основные направления заключаются в создании современной материально-технической базы сельского хозяйства, совершенствовании организации производства и управления, углублении специализации и концентрации сельскохозяйственного производства на базе межхозяйственной кооперации и агропромышленной интеграции, в социальном преобразовании деревни. Благодаря этому курсу партии за последние три пятилетки материально-техническая база сельского хозяйства коренным образом изменилась: энерговооруженность труда возросла более чем в 3 раза, а фондовооруженность — в 4 раза. Сельскохозяйственное производство стало более интенсивным и производительным, открылись возможности для широкого внедрения индустриальных технологий. Это позволило значительно увеличить производство сельскохозяйственной продукции — среднегодовой объем ее за три пятилетки увеличился в полтора раза. На этой

основе за три пятилетки потребление на душу населения возросло: мяса — на 41%, молока — на 25%, яиц — почти в 2 раза, овощей — на 35%. По калорийности рациона наша страна сегодня — в ряду наиболее развитых стран мира. Советский Союз с 6% населения всего земного шара производит 13% зерна, 20% молока, 20% хлопка, 10% мяса, 12% яиц от мирового объема. Производство сельскохозяйственной продукции стало в нашей стране по существу единым процессом в рамках сформировавшегося мощного агропромышленного комплекса.

Несмотря на неоспоримые достижения в развитии аграрного сектора экономики, увеличение объемов производства сельскохозяйственной продукции, предстоит еще много сделать для обеспечения устойчивого снабжения населения всеми видами продовольствия, существенного улучшения структуры питания советских людей за счет наиболее ценных продуктов. Именно эта задача и ставится в Продовольственной программе СССР. Основная ее идея — превратить сельское хозяйство на основе возросшего экономического потенциала страны в высокоразвитый сектор экономики, что является одним из главных условий успешного решения продовольственной проблемы. Основные направления претворения в жизнь Продовольственной программы предусматривают прежде всего пропорциональное и сбалансированное развитие агропромышленного комплекса, совершенствование управления во всех его звеньях, обеспечение высоких темпов роста сельскохозяйственного производства на основе последовательной его интенсификации, сокращение потерь и улучшение качества продукции сельского хозяйства путем внедрения новых технологий по ее переработке и хранению, улучшение материально-технического обеспечения агропромышленного комплекса и наиболее полное использование его производственно-

технического потенциала. Пленум одобрил ряд мер, направленных на дальнейшее улучшение социально-бытовых условий жизни на селе, на усиление материальной заинтересованности работников сельскохозяйственного производства в повышении производительности труда, увеличении выхода продукции, снижении ее себестоимости.

Успешное решение сформулированных майским Пленумом ЦК КПСС новых задач, особенно в области интенсификации производства, возможно лишь на основе широкого использования достижений науки и техники. Поэтому в Продовольственной программе подчеркнута необходимость усилить роль науки, всемерно развивать фундаментальные и прикладные исследования в области общественных, естественных и технических наук.

Наша страна располагает большим научным потенциалом. Сотни научно-исследовательских институтов работают сегодня в системе Академии наук СССР, Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук им. В. И. Ленина, академий наук союзных республик, Министерства сельского хозяйства СССР, других министерств и ведомств. Ученые немало сделали по разработке проблем, важных для реализации Продовольственной программы. В различных регионах страны уже активно внедряются новейшие достижения науки, применяются обоснованные системы земледелия, высокопродуктивные сорта растений и их гибриды, прогрессивные технологии и формы организации труда.

На совместной сессии Общего собрания Академии наук СССР и Общего собрания Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук им. В. И. Ленина, состоявшейся 22—23 сентября 1982 г. в Москве, отмечалось, что учеными разработана система машин на 1981—1990 гг., которая обеспечит применение прогрессивных технологий и технических средств в сельском хозяйстве. Предложена методика для определения потребности в механизаторах и новой технике. Переданы производству предложения и рекомендации по широкому кругу вопросов формирования и развития агропромышленного комплекса. Много конкретных разработок ученых Академии наук СССР, академий наук союзных республик, Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук им. В. И. Ленина уже в ближайшее время можно было бы использовать для реализации Продовольственной программы. Так, например, в Институте радиотехники и электроники АН СССР создан двух-

частотный радиометр, предназначенный для дистанционного определения запасов влаги в сельскохозяйственных угодьях.

Академия наук Украинской ССР предложила методику переработки плодов, которая дает возможность получать из них дополнительный пищевой продукт, содержащий сахар типа фруктозы, витамины и другие питательные вещества. Ее внедрение позволит в целом по стране получать дополнительно 1,5 млн т сахара. В числе таких разработок — создание электронных ускорителей для дезинфекции пищевого и кормового зерна в элеваторах, создание микробиологических методов получения ряда ценных кормовых продуктов, получение полупродуктов для синтеза ряда пестицидов, регуляторов роста растений и стабилизаторов азотных удобрений, открытие Непского калиеносного и Хубскульского фосфоритного бассейнов.

Однако, как отмечалось на совместной сессии, предстоит еще многое сделать. Необходимо интенсифицировать научные исследования, ускорить внедрение результатов научных разработок во всех звеньях агропромышленного комплекса, развить сеть научно-производственных объединений, подготовить научно-обоснованные рекомендации по размещению различных отраслей сельского хозяйства, чтобы вклад науки в осуществление Продовольственной программы стал еще более весомым. К выполнению высокой миссии науки привлечены крупные научные коллективы. Важное значение в этих условиях приобретает координация ведущихся исследований в масштабе всей страны.

В принятом на совместной сессии постановлении отмечается, что дальнейшее развитие научных исследований по направлениям и проблемам, связанным с реализацией Продовольственной программы СССР, является одной из важнейших задач Академии наук СССР, академий наук союзных республик и Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук им. В. И. Ленина. В постановлении сформулированы направления и проблемы, на которых необходимо сконцентрировать внимание научных учреждений.

Высокий долг советских ученых — приложить все свои силы, знания и способности для успешного решения задач, поставленных перед советской наукой майским (1982 г.) Пленумом ЦК КПСС, повысить ответственность за качество исследований, разработок и рекомендаций, активно содействовать претворению в жизнь Продовольственной программы СССР.

## Лазерный термоядерный синтез

Н. Г. Басов



Николай Геннадиевич Басов, академик, член Президиума АН СССР, директор Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР, заведующий лабораторией квантовой радиофизики того же института. Председатель Правления Всесоюзного общества «Знание». Один из основателей нового направления современной физики — квантовой электроники. Им созданы лазеры многих типов и разработаны пути их применения в различных областях науки и техники. Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и Нобелевской премий, член академий наук ряда стран. Главный редактор журнала «Природа».

В декабре 1982 г. Н. Г. Басову исполнилось 60 лет. За выдающиеся заслуги в развитии физической науки, подготовке научных кадров и в связи с шестидесятилетием со дня рождения Н. Г. Басов награжден орденом Ленина и второй золотой медалью «Серп и Молот». Редакция и редакционная коллегия журнала поздравляет Николая Геннадиевича с высокой наградой Родины и желают ему доброго здоровья и новых успехов в научной и общественной деятельности.

В настоящее время объем физической информации, накопленной за многие годы исследований по лазерному термоядерному синтезу (ЛТС), позволяет оценить это направление в целом, а также проанализировать научные и технические трудности, которые необходимо преодолеть для осуществления и использования управляемой термоядерной реакции. По существу, наступил момент, когда на основании анализа имеющихся данных необходимо выбрать наиболее надежный и перспективный путь дальнейших поисков, использующий все сильные стороны лазерного подхода к этой проблеме. Изыскания, проводимые в непрерывно нарастающем объеме, уже сегодня нацелены не только на поиски осуществимого варианта ЛТС, но и на выявление оптимальных путей решения проблемы получения термоядерной энергии.

### ФИЗИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ ЛТС

Физическая концепция ЛТС с инерциальным удержанием исходит из того, что реакция синтеза инициируется в центре

сверхплотной плазмы, сосредоточенной в области с небольшим характерным размером (порядка 100 мкм), и вызывает волну горения, распространяющуюся от центра по всему объему плазмы за время, определяемое инерцией вещества. По истечении этого промежутка времени плазма разлетается и термоядерная реакция прекращается. Время инерциального удержания зависит от размеров плазмы и ее температуры и для мишеней с начальным размером около 1 мм составляет примерно  $10^{-10}$  с.

Количество выделившейся за это время энергии представляет собой функцию плотности плазмы, которая, в свою очередь, связана с характеристиками мишени и параметрами лазерного импульса. Однако даже простые вычисления на основе закона сохранения энергии (подтверждающиеся подробными численными расчетами) приводят к заключению о том, что для получения значительного энергетического выхода мишень должна быть сжата до плотностей в тысячу раз больших, чем плотность жидкого термоядерного топлива, представляющего собой смесь дейтерия с тритием (сжиженный ДТ-газ).

Сферически симметричное лазерное излучение, падающее на мишень, нагревает ее и вызывает ее испарение. При этом под действием реактивного давления раз-

В основу статьи положен доклад Н. Г. Басова на симпозиуме «Синтез с инерциальным удержанием, состояние в мире» (Сан-Франциско, США, декабрь 1981 г.).

летающей плазмы сферической оболочке мишени передается импульс, направленный к центру. В процессе движения оболочки к центру важно, чтобы температура термоядерного топлива оставалась достаточно низкой как можно дольше. В противном случае сжимаемая плазма будет создавать значительное тепловое давление, направленное от центра, которое затормозит оболочку, ограничив тем самым предельное значение плотности центрального ядра плазмы. Таким образом, достижение высокой степени сжатия топлива является важнейшим показателем перспективности того или иного режима сжатия и нагрева термоядерных мишеней.

Гидродинамический режим сжатия и нагрева термоядерного топлива, лежащий в основе физической концепции ЛТС, развиваемой в СССР, характеризуется плавным изменением давления и требует относительно невысокой (до  $10^{14}$  Вт/см<sup>2</sup>) плотности мощности лазерного излучения, подводимого к мишени оболочечного типа. При достаточно большой энергии излучения для мишеней с аспектным отношением (отношением радиуса оболочки  $R$  к ее толщине  $\Delta R$ ), близким к ста, можно достичь значительного сжатия и нагрева термоядерного горючего. Сравнительно низкая плотность мощности излучения позволяет избиваться от ряда нежелательных явлений, главным из которых является предварительный прогрев мишени быстрыми электронами, образующимися при нагревании плазмы лазерным излучением.

Роль быстрых электронов при поглощении интенсивного лазерного излучения плазмой иллюстрируют эксперименты, выполненные американскими исследователями на лазерной термоядерной установке «Шива» с энергией 10 кДж, в которых, хотя и получен рекордный нейтронный выход (около  $10^{10}$  нейтронов в импульсе), однако не удалось достичь планируемого значения выхода нейтронов, превышающего зарегистрированный на четыре порядка. Это обусловлено высокой (около  $10^{15}$  Вт/см<sup>2</sup>) плотностью мощности излучения, подводившегося к мишени. Режим «взрывающейся оболочки», осуществлявшийся в этих экспериментах, сопровождался эффективной генерацией быстрых электронов и, как следствие, привел к сильному предварительному прогреву вещества мишени, в результате чего степень сжатия термоядерного горючего оказалась невысокой.

В настоящее время концепция ЛТС, разработанная в СССР на базе анализа

большого объема теоретических и экспериментальных исследований и численных расчетов, получила всеобщее признание<sup>1</sup>. Она основана на следующих положениях.

1. Среди возможных режимов взаимодействия лазерного излучения с термоядерной мишенью оптимальным является гидродинамический режим абляции<sup>2</sup>, характеризующийся плавным ускорением вещества и отсутствием сильных гидродинамических возмущений.

2. Этот режим может быть реализован с использованием лазерных импульсов простой треугольной формы длительностью несколько наносекунд, обычно формируемых в мощных импульсных лазерах, при плотности мощности порядка  $10^{14}$  Вт/см<sup>2</sup>.

3. Для таких параметров излучения процессы поглощения и дальнейшей трансформации энергии являются в значительной степени классическими, и, следовательно, влиянием быстрых электронов на сжатие и нагрев мишени можно пренебречь.

4. Гидродинамический режим абляции позволяет рассчитывать на достаточную устойчивость этих процессов даже для мишеней с высоким аспектным отношением ( $R/\Delta R \sim 10-100$ )<sup>3</sup>.

5. Условия реализации термоядерной вспышки при гидродинамическом режиме сжатия в принципе могут быть созданы за счет профилирования начальной структуры мишени. (В зависимости от величины подводимой энергии и, соответственно, ожидаемого термоядерного выхода необходимо использовать многослойные оболочечные мишени различной конструкции.)

<sup>1</sup> Основные положения этой концепции разработаны в начале 70-х годов учеными Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР (Ю. В. Афанасьев, Н. Г. Басов, Е. Т. Гамалий, О. Н. Крохин, В. Б. Розанов) и Института прикладной математики им. М. В. Келдыша АН СССР (П. П. Волосевич, С. П. Курдюмов, Е. И. Леванов, А. А. Самарский, А. Н. Тихонов): Лазерные термоядерные мишени с большими коэффициентами усиления по энергии — Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research 1974, v. 2, p. 559, Fifth Conference Proceedings, Tokyo, 11—15 Nov. 1974, IAEA, Vienna, 1975.

<sup>2</sup> Абляция — испарение вещества мишени, приводящее к возникновению импульса давления, направленного внутрь.

<sup>3</sup> Требования к точности изготовления сверхтонких термоядерных оболочек могут оказаться весьма жесткими с точки зрения технологии. Поэтому выбор оптимальных по данному параметру мишеней в настоящее время является одной из важных задач ЛТС.

### Основные характеристики лазера и мишени

Плотность мощности излучения на мишени	$10^{14}$ Вт/см <sup>2</sup>
Длительность импульса	5—30 нс
Энергия лазера	$10^6$ — $10^7$ Дж
Длина волны излучения	0,3—0,6 мкм
Мощность лазера	$10^{14}$ Вт
Расходимость излучения	$10^{-4}$ рад
КПД лазера	5%
Гидродинамический КПД*	10—15%
Объемное сжатие плазмы	$10^4$
Скорость сжатия (движения оболочки)	$2 \cdot 10^5$ м/с
Аспектное отношение (многослойные мишени)	100
Точность изготовления оболочек	1%
Коэффициент термоядерного усиления	1—100

\* Отношение энергии, связанной со сжатием вещества мишени, к энергии лазерного излучения.

6. Значению коэффициента термоядерного усиления<sup>4</sup> порядка  $10^2$  соответствует энергия лазерного излучения примерно  $10^6$  Дж при мощности около  $10^{14}$  Вт. Вопрос об оптимальной длине волны излучения пока остается открытым. С точки зрения физики взаимодействия лазерного излучения с плазмой, коротковолновые лазеры предпочтительнее, однако существуют возможности (о которых будет сказано ниже) эффективного использования и длинноволнового излучения.

С учетом изложенного можно уже сейчас достаточно ясно представить себе критерии построения оптимальных систем лазер — мишень для различных значений энергии лазерного излучения, направле-

мого на мишень, и коэффициента термоядерного усиления.

В настоящее время не вызывает сомнений принципиальная возможность достижения физического порога<sup>5</sup> термоядерных реакций при лазерном подходе. Расчеты, проведенные в ФИАНе и ИПМ АН СССР, анализ накопленных экспериментальных данных, а также надежность и относительная простота физической модели процессов нагрева и сжатия мишеней, позволяющие провести экстраполяцию на более высокий уровень энергии, приводят к заключению о том, что порог реакции может быть достигнут при величине энергии излучения, близкой к  $10^5$  Дж, а возможно — и при более низком значении в случае частотного профилирования лазерного импульса (т. е. одновременного использования импульсов с различной длиной волны). При такой энергии лазерного излучения может быть использована простейшая по своей структуре мишень, хотя проблема устойчивости по-прежнему предъявляет весьма высокие требования к точности ее изготовления (примерно 1%) и симметрии облучения.

Таким образом, с физической точки зрения получение термоядерного «выхода» может быть осуществлено при энергии лазера, не превышающей  $10^5$  Дж, а реализация экономически оправданного термоядерного реактора требует наличия лазеров с энергией в несколько мегаджоулей. На современном этапе главным вопросом для решения проблемы ЛТС является создание лазеров с энергией излучения  $10^5$ — $10^6$  Дж. Так как современная концепция ЛТС базируется на использовании несколь-

<sup>4</sup> Коэффициент термоядерного усиления определяется отношением величины энергии, выделившейся при синтезе, к величине энергии лазерного излучения, направленной на мишень.

<sup>5</sup> Достижение порога реакции означает, что выделявшаяся энергия термоядерного синтеза превышает энергию, затраченную на создание и нагрев плазмы.

### Лазерные установки

Название установки	Число пучков	Энергия, кДж		Мощность, $10^{12}$ Вт	Предельная плотность мощности на мишени, $10^{14}$ Вт/см <sup>2</sup>	Длительность импульса, нс
		полученная [год]	планируемая			
«Кальмар»	9	0,3 [1971]		0,3	2	1
«Мишень»	1	0,3 [1975]		0,17	3	3,6
УМИ-35	32	0,2	10	2—10	1—10	1—10
«Дельфин-1»	6	1,5 [1981]	3—4	2—5	1—10	0,2—2
«Дельфин-2»	12		10	5—20	10—100	0,1—2
«Дельфин-3»	12		20	5—20	$10^2$ — $10^3$	0,1—10

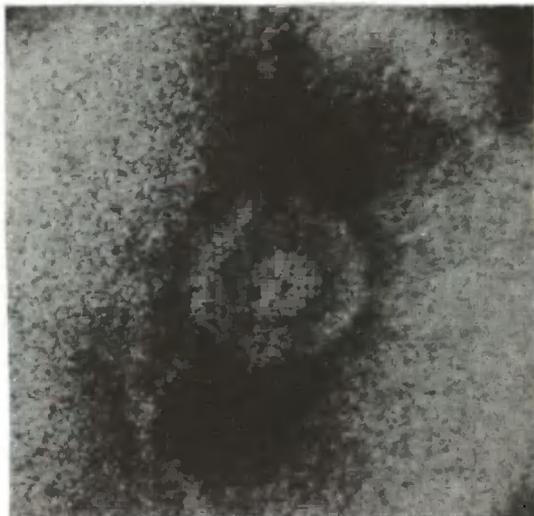
ких лазерных пучков, то для установок такого масштаба необходимо разработать специальные модули (каждый из которых формирует один лазерный пучок) с энергией  $10^4$ — $10^5$  Дж. Разработка таких модулей является важнейшей задачей современной квантовой электроники.

### ЛАЗЕРЫ ДЛЯ ЛТС В СССР

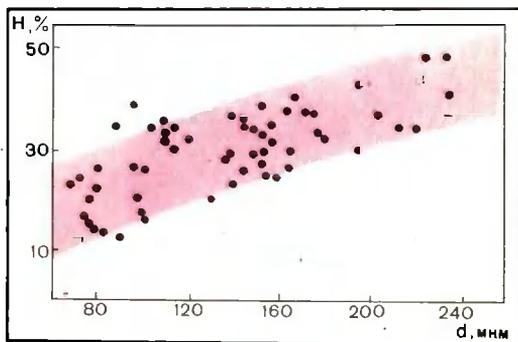
Исследовательская программа по ЛТС, осуществляемая в СССР, ориентирована главным образом на стеклянные лазеры, как на наиболее освоенный промышленностью тип лазера. В 1981 г. в ФИАНе, в соответствии с рассмотренной выше физической концепцией ЛТС, была запущена установка «Дельфин-1» с неодимовым лазером, энергия которого в настоящее время составляет около 2 кДж, а длительность импульса — несколько наносекунд.

Каковы перспективы разработки лазеров другого типа? Простые физические соображения (сильное поглощение, отсутствие быстрых электронов, большая скорость абляции и, следовательно, высокий гидродинамический КПД) заставляют отдавать предпочтение коротковолновым лазерам. Однако вопрос о КПД и возможности генерации наносекундных импульсов в коротковолновом диапазоне остается в настоящее время не вполне ясным. По-видимому, перспективными в этом направлении являются эксимерные лазеры, в которых при оптимизации усилительных каскадов может быть в принципе достигнут КПД около 10%. Однако создание такой лазерной установки связано с проблемами однородной накачки больших объемов рабочего вещества лазера электронными пучками с энергией в несколько МэВ и подавления влияния высокоинтенсивного паразитного рентгеновского излучения на свойства используемой оптики и активной среды.

С точки зрения КПД и частоты повторения импульсов, наиболее подходящими представляются  $\text{CO}_2$ -лазеры, но существующие на сегодняшний день данные по взаимодействию излучения этих лазеров с веществом мишеней свидетельствуют о преобладании эффекта трансформации подводимой энергии в энергию быстрых электронов. Этот эффект оказывается вредным для лазерной абляции и требует применения в мишенях «толстых» защитных слоев. Как показали расчеты, имеется принципиальная возможность подобрать внешний слой мишени таким образом, чтобы



Рентгеновская микрофотография плазмы, образующейся при нагреве многокаскадной мишени, представляющей собой оболочку из полистирола диаметром 276 мкм, внутрь которой помещена стеклянная оболочка диаметром 97 мкм. Фотография иллюстрирует возможность нагрева и сжатия плазмы в сложных многокаскадных мишенях в гидродинамическом режиме абляции.



Зависимость коэффициента  $K$  поглощения лазерного излучения от диаметра  $d$  мишени, полученная в экспериментах на установке «Кальмар». В опытах варьировались материалы мишеней и их конструкция. Видно, что при значениях диаметра мишеней более 200 мкм коэффициент поглощения достигает 50%.

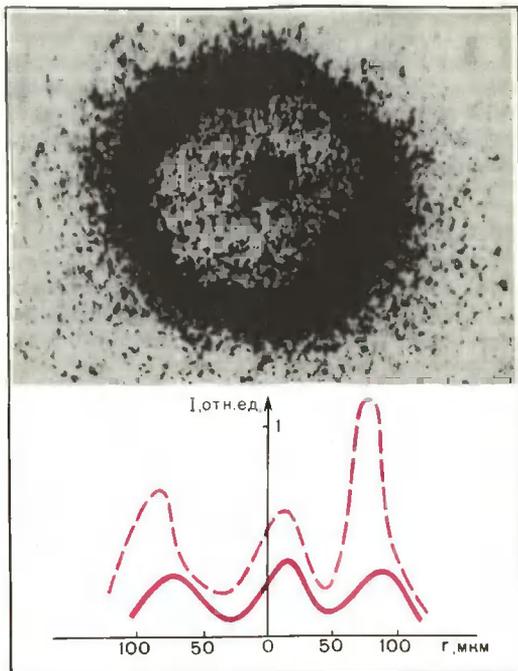
в результате нагрева быстрыми электронами мог быть реализован режим «сжимающейся оболочки».

### ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

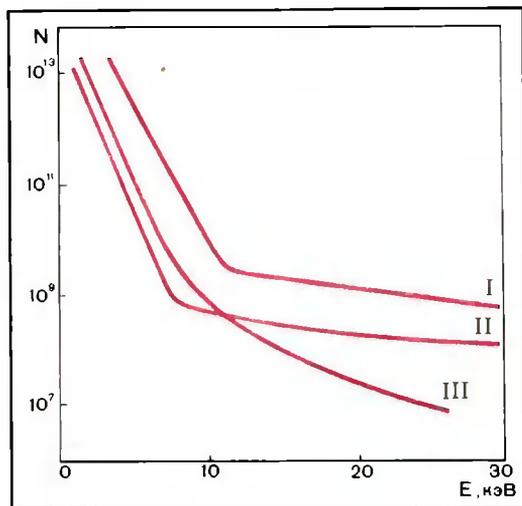
Приведем основные экспериментальные результаты, обосновывающие рассмотренную концепцию ЛТС. Главными зада-



Рентгеновская микрофотография плазмы, полученной при облучении толокостенной стеклянной мишени диаметром 140 мкм и толщиной 1,2 мкм, наполненной газообразным дейтерием, сжатом под давлением 35 атм. Наблюдается сжатое ядро плазмы. Степень объемного сжатия порядка  $10^3$ .



Рентгеновская микрофотография плазмы, полученной при несимметричном [степень асимметрии 30%] облучении мишени из полистирола диаметром 179 мкм и толщиной 6,9 мкм. Внизу показаны экспериментальное [сплошная линия] и теоретическое [пунктир] пространственные распределения интенсивности  $I(r)$  рентгеновского излучения. Видно, что асимметрия облучения приводит только к смещению положения сжатого ядра относительно центра мишени, не влияя существенно на степень сжатия.



Спектральные распределения числа квантов (нормированного на единичный энергетический интервал) рентгеновского излучения плазмы, образующейся при нагреве стеклянных оболочечных мишеней, полученные на установках: I — «Янус» (США), II — «Аргус» (США), III — «Кальмар» (СССР). Кривые показывают, что быстрых электронов, ответственных за рентгеновские кванты с энергией, превышающей 20 кэВ, в условиях экспериментов на установке «Кальмар» в 10—100 раз меньше, чем на установках Ливерморской лаборатории США.

чами, которые стоят перед исследователями при выяснении оптимального режима сжатия и нагрева термоядерных мишеней, являются следующие:

1) определение коэффициента поглощения лазерного излучения в тонкостенных оболочечных мишенях в диапазоне плотностей мощности  $10^{13}$ — $10^{14}$  Вт/см<sup>2</sup>;

2) исследование устойчивости сжатия оболочечных мишеней с различными аспектными отношениями;

3) определение влияния неоднородности облучения (неравномерности распределения интенсивности излучения по поверхности мишени) на предельную степень сжатия;

4) изучение механизмов генерации быстрых электронов в плазме под действием мощного лазерного излучения и влияние этих электронов на динамику нагрева и сжатия мишени.

Помимо этого, важное значение придается поиску оптимальной конструкции мишеней, которые могли бы служить прообразом термоядерных мишеней для реактора, и ряду других вопросов.

До конца 70-х годов основные исследования в СССР проводились на девятиканальной лазерной установке «Кальмар», которая позволяла осуществлять нагрев и сжатие сферических мишеней в гидродинамическом режиме абляции при энергии лазерного излучения, подводимого к мишени, порядка 100 Дж. В результате этих исследований были подтверждены основные положения описанной выше концепции. Так, было показано, что коэффициент поглощения лазерного излучения может достигать 50% в диапазоне плотностей мощности излучения, соответствующем гидродинамическому режиму. В этих же экспериментах было достигнуто тысячекратное объемное сжатие газа, заключенного в мишени с аспектным отношением около 35, и установлено, что в тех случаях, когда асимметрия облучения составляет менее 30%, не происходит заметного изменения степени сжатия, что свидетельствует об устойчивости этого режима. Измерения распределения электронов по скоростям показали, что при плотности мощности излучения, соответствующей гидродинамическому режиму абляции, количество быстрых электронов на несколько порядков меньше величины, наблюдавшейся в экспериментах, проведенных в Национальной лаборатории им. Э. Лоуренса в Ливерморе (США) при плотностях мощности порядка  $10^{15}$  Вт/см<sup>2</sup>.

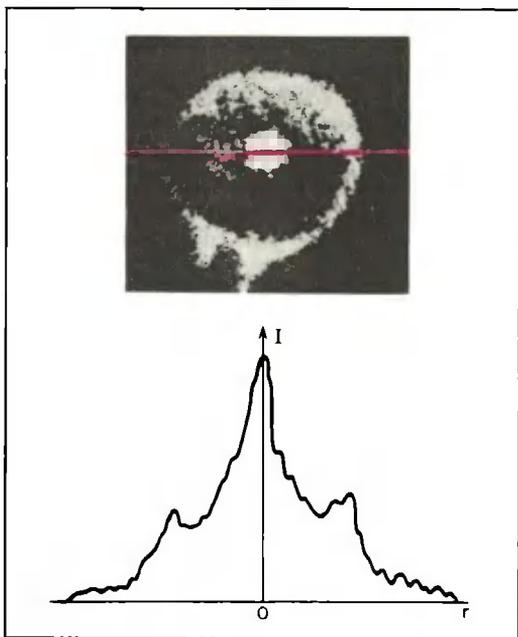
При определении перспективности для ЛТС оболочечных мишеней одной из главных является проблема устойчивости сжатия высокоаспектных мишеней с  $R/\Delta R > 100$ . Использование таких мишеней позволяет существенно увеличить коэффициент преобразования энергии лазерного излучения, направляемого на мишень, в энергию движения вещества к центру (гидродинамический КПД) и скорость движения оболочки и за счет этого значитель-

#### Основные параметры установки «Дельфин-1»

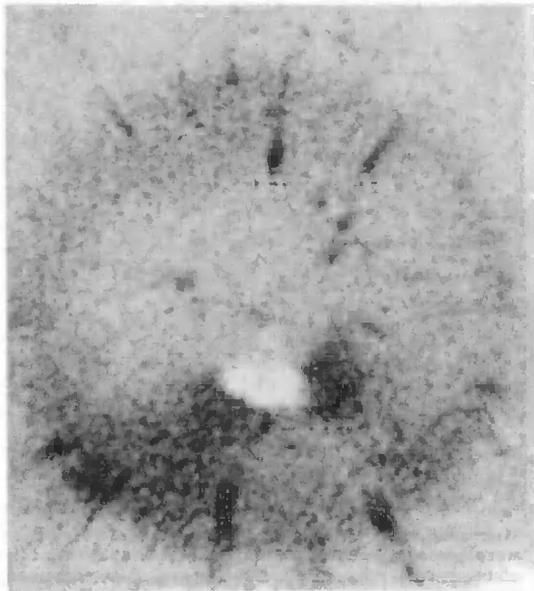
Энергия излучения	$2 \cdot 10^3$ Дж
Длительность импульса	2 нс
Поглощенная энергия	$1 \cdot 10^3$ Дж
Аспектное отношение мишени (стеклянная оболочка)	100—200
Температура плазменной короны	1 кэВ
Скорость движения оболочки	$1,6 \cdot 10^5$ м/с



Многокадровая теневая фотография сферически симметричной ударной волны, образующейся в остаточном газе при расширении плазмы, нагреваемой лазерным излучением с энергией 1 кДж. Скорость съемки —  $5 \cdot 10^7$  с<sup>-1</sup>, время экспозиции — 1 нс. Показан процесс развития фронта ударной волны, распространяющейся со скоростью, превышающей  $10^5$  м/с.



Рентгеновская микрофотография плазмы, иллюстрирующая сжатие высокоаспектных оболочечных мишеней. Внизу показано распределение интенсивности  $I(r)$  рентгеновского излучения в диаметральном сечении (отмеченном цветной линией) для стеклянной мишени диаметром 534 мкм и толщиной 1,1 мкм.



Рентгеновская микрофотография плазмы, образующейся при нагреве оболочечной мишени из полистирола. Видны нитевидные образования, свидетельствующие о развитии явления филаментации в короне.

но повысить степень сжатия термоядерного топлива.

Экспериментальные исследования возможности устойчивого сжатия оболочечных мишеней с величиной аспектного отношения более 100 были выполнены на установке «Дельфин-1» при энергии лазерного излучения, подводимого к мишени, около 2 кДж. В опытах удалось зарегистрировать устойчивое сжатие простых оболочечных мишеней из стекла с начальными радиусами в районе 200 мкм и толщиной стенок от 0,7 до 1,7 мкм.

Регистрация степени сжатия осуществлялась методами рентгеновской микроскопии по измерению пространственного распределения светимости плазмы<sup>6</sup> в рентгеновском диапазоне спектра. Одновременно с помощью рентгеновского электроннооптического преобразователя измерялась скорость движения оболочки к центру. (Максимальная величина объемного сжатия превышала  $3 \cdot 10^3$ , при этом скорость оболочки достигала  $1,6 \cdot 10^5$  м/с.)

Эксперименты, выполненные на уста-

<sup>6</sup> Светимость — величина полного потока излучения в определенном спектральном интервале, отнесенного к площади поверхности источника.

## Характеристики системы лазер — мишень для термоядерного реактора

Энергия излучения	$(1-5) \cdot 10^6$ Дж
Мощность	$10^{14}$ Вт
Расходимость излучения	$10^{-4}$ рад
Частота повторения	1—10 Гц
Расстояние от лазера до мишени	> 50 м
Диаметр многослойной криогенной мишени (ДТ-лед)	0,5—1,5 см
Коэффициент термоядерного усиления	10—100
Выход нейтронов	$10^{17}$ 1/имп

новке «Дельфин-1», позволили обнаружить явление филаментации (образование нитевидных сгустков), свидетельствующее о развитии неустойчивостей в плазменной короне<sup>7</sup>, толщина которой возрастает с ростом энергии лазерного излучения. Наиболее отчетливо эти нитевидные образования в изображении плазмы, сформированном ее собственным рентгеновским излучением, наблюдаются при использовании мишеней, изготовленных из материалов с низкой плотностью (полистирол). Анализ экспериментальных результатов показывает, что, несмотря на развитие филаментации, удается достичь высокого сжатия мишеней.

## ЛАЗЕРНЫЕ ТЕРМОЯДЕРНЫЕ РЕАКТОРЫ

В рамках программы исследований по управляемому термоядерному синтезу в нашей стране за последние годы разработан также ряд проектов лазерного энергетического реактора с достаточно полным обоснованием. В результате этих проработок сформулированы требования к системе лазер — мишень для энергетического реактора.

Существуют проекты трех типов реакторов: «чистый» реактор (в котором используется только энергия синтеза), гибридный вариант (синтез + деление урана вblankете) и реактор-наработчик горячего для обычной атомной электростанции, составляющий вместе с ней единый энергетический комплекс.

Наиболее трудно реализуемым представляется «чистый» реактор, так как в этом случае необходимы лазер с достаточно высоким КПД (около 5%) и мишень, обеспечивающая коэффициент термоядерного усиления более 10. Кроме того, даже при выполнении указанных требований стои-

<sup>7</sup> Область плазмы, в которой происходит наиболее интенсивное поглощение излучения.



Обсуждение проблем лазерного термоядерного синтеза в ФИАНе. Слева направо: Г. В. Склизков, Н. Г. Басов, Ч. Таунс (США). Октябрь 1982 г.

мость электроэнергии в «чистом» реакторе оказывается вдвое выше, чем во втором и третьем вариантах. Экономические расчеты показывают, что наиболее дешевая электрическая энергия получается при использовании системы лазер — мишень для наработки ядерного топлива с последующим его сжиганием в АЭС. При этом КПД лазера может быть и небольшим (до 0,5%).

Интересно отметить, что вклад стоимости лазера в общие затраты на единицу мощности электростанции не превышает 10% (при стоимости лазера до 100 руб/Дж, его КПД около 5% и ресурсе работы порядка  $10^8$  импульсов в год).

Наиболее близким к достижению указанных параметров из существующих сейчас лазеров представляется электроионизационный  $\text{CO}_2$ -лазер. Возможным кандидатом является также эксимерный лазер. При общем оптимистическом взгляде на проблему в целом следует подчеркнуть, что задача создания технологичного в изготовлении и удобного в эксплуатации мегаджоульного лазера представляет собой чрезвычайно сложную проблему.

В заключение хотелось бы отметить, что прогресс в понимании физики ЛТС был достигнут усилиями ученых многих стран. При разработке мегаджоульных лазеров (в условиях, когда оптимальный

тип лазера еще трудно выбрать и когда создание лазерных термоядерных установок в целом требуют грандиозных усилий и затрат) трудно обойтись без широкой международной кооперации. Такое сотрудничество в рамках стран-участниц СЭВ или в более широком масштабе (как это уже имеет место для термоядерных установок с магнитным удержанием) позволит значительно ускорить сроки реализации программы ЛТС.

#### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

**Афанасьев Ю. В., Басов Н. Г., Гамалий Е. Г., Крохин О. Н., Розанов В. Б.** ПРОГРЕСС В ФИЗИКЕ ЛАЗЕРНОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА. — Природа, 1976, № 10.

**Крохин О. Н., Склизков Г. В., Шиканов А. С.** ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЛАЗЕРНОМ УПРАВЛЯЕМОМ ТЕРМОЯДЕРНОМ СИНТЕЗЕ. — Природа, 1976, № 11.

**Басов Н. Г., Крохин О. Н., Склизков Г. В., Федотов С. И.** МОЩНЫЕ ЛАЗЕРЫ ДЛЯ ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА. — Природа, 1976, № 12.

**Басов Н. Г.** СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ ЛАЗЕРНОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА В ЭНЕРГЕТИКЕ БУДУЩЕГО. — Природа, 1978, № 6.

**Афанасьев Ю. В., Басов Н. Г., Гамалий Е. Г.** ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ПОЛЕ ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА. — Природа, 1982, № 6.

## Бурение на подступах к мантии

Л. Н. Шадрин



Лев Николаевич Шадрин, кандидат технических наук, заведующий сектором Всесоюзного научно-исследовательского института организации, управления и экономики нефтегазовой промышленности Министерства нефтяной промышленности СССР. Специалист по технологии и организации бурения скважин. В «Природе» опубликовал статью: Как проникнуть в мантию Земли? (1974, № 11).

Поистине удивительным парадоксом современной научно-технической революции является тот факт, что, наряду с захватывающими воображение полетами космических аппаратов вокруг Земли, на Луну, Венеру, Марс, к Юпитеру и, наконец, еще дальше — за пределы Солнечной системы, глубинные недра нашего собственного космического дома все еще остаются, в полном смысле, *terra incognita*.

Благодаря опорным разведочным скважинам, геологам удалось сравнительно неплохо изучить приповерхностный слой Земли до глубины 6—9 км. Но эти глубины не выходят за пределы самой верхней оболочки Земли — ее коры. Даже под океанами, где земная кора сравнительно тонка, она достигает 8—10 км, а под континентами ее мощность меняется от 25—30 до 50—100 км в зависимости от характера рельефа. Для того чтобы вскрыть всю толщу земной коры и проникнуть в мантию, создано несколько проектов, о реализации которых и будет рассказано в статье.

### ДВА ПУТИ В НЕДРА

Чтобы проникнуть в глубинные недра Земли, инженеры и ученые предложили много оригинальных технических про-

ектов, которые можно свести в две большие группы: шахты и скважины.

Один из этих проектов предусматривает проходку 30-километровой шахты, ствол которой должен состоять из вертикальных и наклонных участков, образующих циклопические ступени<sup>1</sup>. Такая шахта, сооружение которой в недалеком будущем в принципе вполне возможно, могла бы иметь многоцелевое научное и практическое назначение. Прежде всего, ее можно использовать в качестве долговременной лаборатории по исследованию состава пород, физических и многих других параметров глубинной окружающей среды в пределах земной коры и верхней мантии. Вместе с тем такую горную выработку можно было бы использовать и для промышленной добычи обнаруженных в недрах ценных полезных ископаемых.

Однако проходка и крепление столь глубокой шахты, а затем и работа в ней шахтеров и исследователей были бы сопряжены с большими трудностями. Пожалуй, основным препятствием является непрерывное повышение температуры по мере углубления шахты. Достаточно сказать, что на предельной забойной отметке 30-ки-

<sup>1</sup> Кроме У. Проект «Мохол». М., 1967.

лометровой шахты температура должна повыситься примерно до 900°C. Чтобы обеспечить пребывание и работу людей при таких условиях, потребовались бы автономные капсулы, оснащенные мощной системой терморегулирования, не уступающей по сложности соответствующим системам космических кораблей и автоматических межпланетных станций.

Другая опасность как для самой конструкции такой шахты, так и для работающих в ней людей обусловлена воздействием геостатического давления, возрастающего прямо пропорционально глубине и плотности горных пород. Это гигантское давление, создаваемое весом налегающих сверху пород, стремится смять и сомкнуть ствол шахты, проходка которого нарушает равновесное состояние горного массива, установившееся за миллионы лет его геологической истории. Для крепления горной выработки относительно большого диаметра, какой должна быть 30-километровая шахта, необходимы сверхпрочные и сверхтермостойкие материалы, массовое производство которых еще не освоено.

Другим, альтернативным прокладке сверхглубоких шахт, способом проникновения в глубинные недра Земли является проходка буровых скважин.

Но какой должна быть скважина на мантию Земли? Вне всякого сомнения, ее прототипом является обычная нефтяная скважина. Разница состоит в несравнимо большей глубине, ужесточении условий забойной среды (более высокие температуры глубинных слоев, поровое, гидростатическое и геостатическое давления), уплотнении пород горного массива и в проявлении других естественных факторов, совместное влияние которых усугубляет трудности чисто технологического порядка, связанные с проходкой ствола скважины на глубинах свыше 10 км.

Идея разработки, а затем и реализации первых этапов проекта сверхглубокого бурения на мантию Земли, оказалась в значительной степени связанной с бурным развитием разведки и разработки морских нефтяных месторождений.

С тех пор как в 1925 г. у нас на Каспии, в акватории Биби-Эйбатской бухты, было начато бурение первой скважины с деревянного свайного острова, а затем в 1928—1929 гг. в прибрежных водах близ штата Калифорния (США) появились первые морские основания для проходки добывающих скважин и эксплуатации подводных нефтяных месторождений, морская нефтяная индустрия мира прошла длитель-

ный путь развития. Начав с применения насыпных дамб, прибрежных эстакад и относительно простых (сначала деревянных, а затем металлических) буровых и эксплуатационных оснований островного типа, уже с середины 50-х годов морские нефтяники стали брать на вооружение передвижные полупогружные и самоподъемные буровые установки, а затем и корпусные морские суда. Применение этой техники открыло новые возможности в отношении ускорения темпов разведочного и эксплуатационного бурения нефтяных скважин в обширных относительно мелководных акваториях морей и океанов, которые в настоящее время дают свыше 20% всей мировой добычи нефти.

Интересно отметить, что для всех этапов развития морской нефтепромышленной технологии характерен исключительно высокий темп научно-технического прогресса. В наши дни поисковые и нефтепромысловые работы в открытом море ведут нефтяные фирмы около 50 государств, используя при этом плавучие основания и специально оснащенные буровые суда более 250 типов.

Вот почему, когда в 1957 г. обсуждались способы проводки сверхглубокой скважины до раздела Мохоровичича (американский проект «Мохол»)<sup>2</sup>, чаша весов склонилась в сторону применения плавучей буровой платформы в океане.

На первом этапе реализации проекта «Мохол» в марте — апреле 1961 г. американским ученым удалось пробурить пять структурных скважин до отметки 318 м ниже океанического дна при толщине слоя воды 958 м в районе подводного каньона в акватории близ города Сан-Диего (Калифорния). Вслед за этим еще серия из пяти скважин глубиной до 183 м была пробурена в акватории Тихого океана к востоку от о-ва Гуаделупе при глубине воды в этом месте 3566 м.

Проходку всех этих скважин осуществляли с борта специально переоборудованной баржи «КАСС-1», оснащенной буровой установкой, системой безъякорного удержания судна в заданной точке морской поверхности, а также комплексом оборудования для проведения геофизических исследований в стволе подводной скважины.

<sup>2</sup> Раздел Мохоровичича — граница, отделяющая земную кору от мантии. Для него характерно скачкообразное изменение скорости продольных сейсмических волн, обусловленное резко отличными физическими свойствами пород коры и мантии.

В дальнейшем для проходки главной 11—12-километровой скважины, которой намечалось вскрыть мантию Земли близ о. Мауи (Гавайский архипелаг) при глубине океана 5500 м, была спроектирована не боящаяся тайфунов громадная полупогружная морская платформа, снабженная автоматизированной буровой установкой высокой грузоподъемности, гребными винтами для самопередвижения, а также весьма совершенной по тем временам автоматизированной безъякорной системой удержания этого бурового «крейсера» в заданной точке морской поверхности. Одновременно с этим сотни исследовательских, проектных, машиностроительных и нефтяных фирм разрабатывали высокопроизводительные буровые инструменты, системы эффективной промывки скважины, комплексы геофизических и геохимических методов исследования глубинной среды, методы ускорения смены изнашиваемых долот и забойных механизмов, а также решали многие другие технические и технологические проблемы.

Однако успешно начатые работы по реализации американского проекта «Мохл» были прерваны в 1966 г. в связи с прекращением их финансирования, что, по видимому, было вызвано мобилизацией финансовых средств на подготовку космической программы «Аполлон»<sup>3</sup>.

## ИНДУСТРИЯ СВЕРХГЛУБОКОГО БУРЕНИЯ

В 1961 г. ученые и специалисты нашей страны обосновали техническую возможность вскрытия земной коры скважинами на глубину 15—18 км. В качестве исходной посылки для выбора мест заложения таких скважин утвердили принцип, согласно которому сверхглубокое бурение должно стать средством изучения возможно более полных разрезов материковой земной коры на всю ее мощность в наиболее важных и характерных геологических регионах территории страны. Вместе с тем предусматривалась и возможность

изучения таких актуальных вопросов, как происхождение нефти и газа, закономерности их размещения в разрезах осадочных бассейнов, а также выявление механизмов возникновения и накопления рудного вещества в нижних «примантийных» разделах земной коры, что имеет прямое отношение к поискам и прогнозной оценке месторождений полезных ископаемых.

Исходя из указанных соображений, было решено исследовать континентальные недра Советского Союза пятью группами сверхглубоких скважин, места заложения которых выбраны на Кольском п-ове, в Прикуринской низменности Азербайджана, на Урале, в Прикаспийской низменности, а также на одном из островов Курильской гряды, где будут изучаться дифференциация глубинного вещества, особенности структуры земной коры на стыках континента и океана, природа островных дуг, механизмы вулканических процессов и сейсмичности.

Во время обсуждения этой программы (практически около 20 лет назад) ни геологи, ни нефтяники еще не располагали техническими средствами для проходки скважин глубиной 15—18 км. В 1961 г. средняя глубина эксплуатационного и разведочного бурения в Советском Союзе была 1620 и 1995 м соответственно. Исчисляемые единицами скважины глубиной 4000 м считались уникальными. Более того, многие важные технические и технологические проблемы сверхглубокого бурения в то время не имели даже и принципиального решения.

Значение программы сверхглубокого бурения не ограничивалось только тем, что она была нацелена на решение важнейших научных проблем. Она имела и огромное стимулирующее влияние, так как потребовала мобилизации интеллектуальных и материальных сил и средств многих научно-исследовательских, проектно-конструкторских организаций и машиностроительных заводов на быстрейшее создание новых поколений буровой техники и промышленно-геофизической аппаратуры, чтобы постепенно подготовить необходимую технику и специалистов, накопить базовый опыт для выполнения основных научно-технических задач сверхглубокого бурения.

В связи с этим была выработана стратегия поэтапного наращивания глубины бурения скважин. На первом этапе для проходки нескольких скважин до отметки 7 км намечалось использовать существовавшие в то время серийные буровые установки. Вслед за этим предусматривалась

<sup>3</sup> Вплоть до конца 70-х годов американцы были неизменными обладателями рекордов глубины бурения как эксплуатационных, так и разведочных скважин. Последний рекорд бурения был установлен в 1974 г. фирмой «Лоун Стар Продьюсинг Компани» в районе наиболее погруженной части осадочного газоносного бассейна Анадарко (штат Оклахома), когда проходка разведочной скважины Берта Роджерса была прекращена на отметке 9583 м по геологическим причинам.

возможность дальнейшего углубления стволов 7-километровых скважин до промежуточной отметки 10—12 км, а затем и до предельной глубины 15—18 км на базе вновь создаваемого бурового оборудования.

### ПРОБА СИЛ НА БАЛТИЙСКОМ ЩИТЕ

Стратегия совмещения во времени относительно легкого первого этапа бурения скважин до 7-километровой отметки с интенсивной разработкой и изготовлением более мощного оборудования, контрольно-измерительной аппаратуры и сооружений для проходки, исследования последующих нижних интервалов скважин полностью себя оправдала уже в ходе первой фазы программы сверхглубокого континентального бурения на Кольском п-ове. Здесь 25 мая 1970 г. была начата проходка 15-километровой скважины, заложной в 8 км от г. Заполярного в целях комплексного исследования глубинных недр Балтийского кристаллического щита, который является крупным структурным поднятием Восточно-Европейской платформы и одним из древнейших образований земной коры.

Помимо аспектов чисто геологического характера, Балтийский щит, включающий территорию Скандинавского и Кольского п-овов, Карелию, часть Ленинградской области, Прибалтику и акваторию Балтийского моря, интересен также и тем, что земная кора этого обширного региона постепенно поднимается, стремясь к положению изостазии, т. е. к такому состоянию, при котором ее вес будет полностью компенсироваться архимедовой силой, действующей со стороны более плотного подкорового вещества — субстрата. Нарушение этого равновесия произошло во время последнего оледенения, когда под тяжестью льда северная часть Европейского континента, подобно перегруженной барже, опустилась в каменно-вязкую пучину мантии. Освободившись от бремени в результате стаивания льда, Балтийский щит начал быстро (в геологическом смысле) подниматься, стремясь занять равновесное положение, причем максимальная скорость его подъема в северной части региона составляет около 1 см в год. На первый взгляд может показаться, что такая скорость мала и вряд ли может быть замечена. Однако подъем древнего щита все же дает о себе знать. Так, одним из его прямых следствий явилось землетрясение, происшедшее 25 октября 1976 г. в районе

Финского залива. Эпицентр этого землетрясения, зафиксированный в непосредственной близости от северо-западного побережья Эстонии, приурочен как раз к той части Прибалтики, где, по данным геофизических исследований, происходит наиболее интенсивное (для данного района) поднятие побережья, достигающее около 3 мм в год.

Гораздо больший темп поднятия Балтийского щита в районе Кольского п-ова, по-видимому, объясняется тем, что там, на севере, мощный ледниковый покров растаял намного позднее, чем относительно более тонкий слой льда в акватории Балтийского моря и районах Прибалтики, что в совокупности и обусловило более позднее и потому наблюдаемое в настоящее время интенсивное восстановление равновесного состояния северного края этого обширного региона.

Предпринимаемое исследование толщи Балтийского щита с помощью сверхглубокого бурения открывает уникальную возможность для раскрытия и понимания истинного механизма энергетики и динамики этих вертикальных перемещений, а также для оценки их влияния на тектонику этого щита и подобных гигантских образований земной коры.

Сверхглубокое бурение Балтийского щита, в основном, направлено на получение сплошной колонки керна и геофизического материала для выяснения геологической природы сейсмических границ и причин расслоения земной коры по физическим параметрам, а также для выяснения механизма формирования и развития континентов, возникновения гранитов, влияния «базальтового» слоя на образование рудоносных растворов и формирование месторождений полезных ископаемых.

На первом этапе проходка ствола скважины велась с помощью хорошо знакомой нефтяникам серийной буровой установки «Уралмаш-4Э». Начальный интервал ствола скважины был пробурен 4-ярусным многошарошечным долотом диаметром 920 мм до отметки 40 м и обсажен 720-миллиметровым кондуктором. Пробурив опережающий ствол долотами диаметром 214 мм до отметки 5300 м, проходчики были вынуждены принять меры для устранения опасности обрушения верхней части скважины, возникшей в результате износа ее стенок при бесчисленных спусках и подъемах бурильного инструмента. Верхнюю часть опережающего ствола ниже кондуктора вплоть до отметки 2000 м расширили с 214 до 394 мм и закрепили

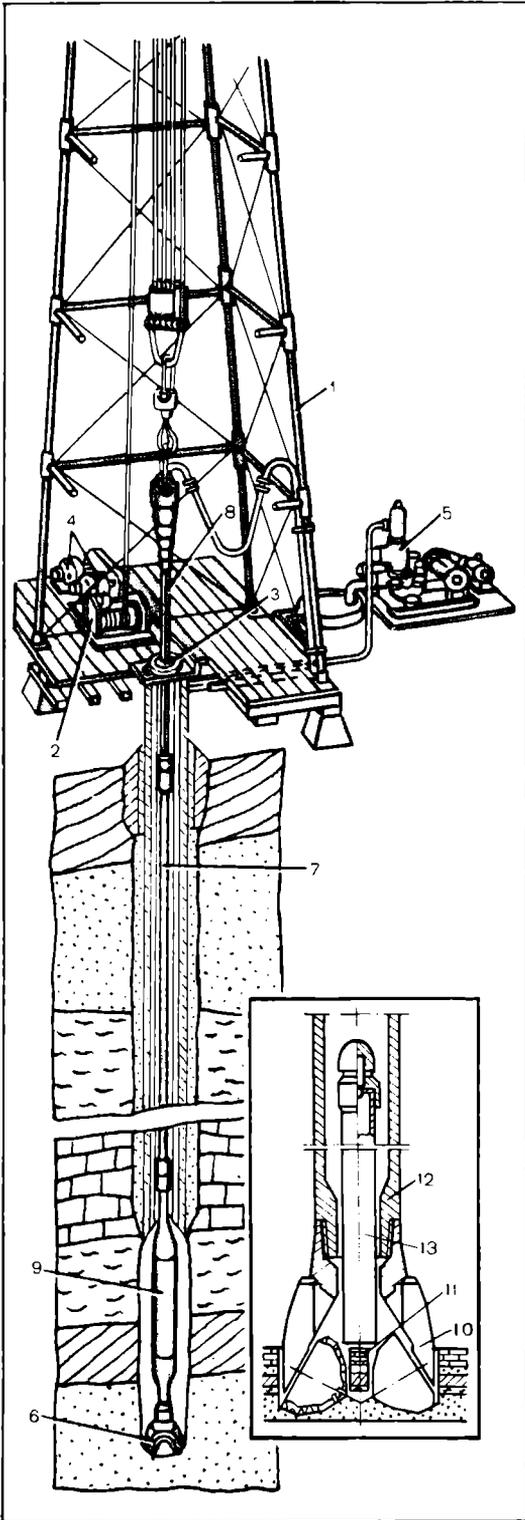


Схема буровой установки и инструмента для проходки глубоких скважин.

Буровая установка представляет собой комплекс наземного оборудования, включающего вышку [1], лебедку [2], ротор [3] с приводным двигателем [4], буровой насос [5], а также механизмы для приготовления и очистки бурового раствора. Бурение ведется прижатом к забою долотом [6]. Оно закрепляется на нижнем конце колонны буровых труб [7], которая может вращаться с помощью ведущей трубы [8], получающей крутящий момент от ротора. В другом варианте, когда долото вращается забойным двигателем [9], как на Кольской скважине и в Саатлах, долото закрепляется на конце вала этого двигателя, что позволяет бурить скважину, не вращая многокилометровую буровую колонну. Измельченная долотом порода удаляется от забоя и выносится из скважины восходящим между буровой колонной и стенками скважины потоком бурового раствора, подаваемого к забойному двигателю и долоту через шланг и колонну буровых труб.

Поскольку бурение Кольской скважины ведется при сплошном отборе образцов пород, в арсенале применяемых там буровых инструментов особое место занимают колонковые долота (см. крупный план). Буровая головка [10] колонкового долота разрушает породу по периферии забоя, оставляя в центре нетронутую колонку — керн [11]. По мере углубления скважины керн поступает в колонковый набор, состоящий из корпуса [12] и колонковой трубы [13] длиной 8—10 м, которая сохраняет керн во время бурения и при подъеме на поверхность. В нижней части колонковой трубы помещены кернодержатели и кернодержатели, а в верхней — клапан, пропускающий вытесняемую керном жидкость.

325-миллиметровой обсадной колонной, зацементировав ее до самого устья.

Чтобы предохранить эту колонну от неминусового сквозного протирания и обрыва, внутрь ее опустили так называемую съемную предохранительную колонну диаметром 245 мм. Вслед за этим проходка скважины была продолжена колонковыми долотами диаметром 214 мм.

Важным промежуточным рубежом явилась достигнутая в апреле 1975 г. отметка 7263 м, на которой проходка скважины была временно остановлена для замены исчерпавшего свои технические возможности наземного оборудования.

Для проходки очередного глубинного интервала (7263—15 000 м) над устьем временно закрытой скважины построили новую установку «Уралмаш БУ-15 000», в самом названии которой цифрами обозначена предельная глубина бурения скважины. Форма и размеры этого самого крупного в мире комплекса бурового оборудования, смонтированного в полярном исполнении, не укладываются в традиционные представления о буровой вышке. Это, скорее, сложный горнопроходческий завод, над которым маячит массивная призма буровой вышки высотой в 24-этажный дом. Установка грузоподъемностью 400 т оснащена крупнейшими в стране буровыми машинами, механизмами и силовыми агрегатами, электрическая мощность которых вполне достаточна для освещения среднего районного города. Для оптимизации буровых процессов и обеспечения устойчивости ствола скважины, как горной выработки большой протяженности, применяется новейшая электронно-вычислительная техника. Следует отметить, что при строительстве уникального комплекса Кольской буровой достигнута полная изоляция внутренних помещений вышки, машинного зала, всех рабочих зон, научных лабораторий, цехов и служб, обеспечивающих непрерывную проходку скважины, от арктического холода.

После монтажа новой буровой установки проходчики расконсервировали скважину. Незакрепленный обсадными трубами открытый ствол диаметром 214 мм и протяженностью 5263 м отлично выдержал испытание временем в течение около полутора лет. Соблюдая предельную осторожность, буровые мастера довели 7-километровый инструмент до забоя и в октябре 1976 г. приступили ко второму этапу бурения, которое по-прежнему ведется при сплошном отборе керна. Поднятый на поверхность столбик керна распилива-

ют вдоль оси. Одна половинка передается на государственное хранение, а вторая делится на части и поступает в лаборатории научно-исследовательских институтов для различных исследований.

В ноябре 1981 г. забой Кольской скважины миновал 11-километровую отметку и продолжает опускаться все ниже в толщу Балтийского кристаллического щита, который, начиная с поверхности и почти до глубины 7 км, представлен протерозойскими породами возрастом свыше 2 млрд лет, а в нижней части — еще более древними архейскими породами возрастом свыше 3 млрд лет.

В настоящее время промежуточной целью бурения Кольской скважины является глубина 13 км, после чего будет предпринят последний штурм кристаллического горного массива до проектной отметки 15 км.

#### КРАХ ГИПОТЕЗ. ПРОВЕРКА РАСЧЕТОВ

Уже сейчас можно констатировать, что в ходе бурения Кольской скважины были решены многие тесно связанные организационные, научные и технические проблемы, которые возникли на первой стадии реализации программы сверхглубокого бурения. Прежде всего, в результате интенсивных научных и инженерных поисков было организовано производство эффективных конструкций породоразрушающих колонковых инструментов, тихоходных гидравлических забойных двигателей, уникального комплекта буровых машин и глубинной измерительной аппаратуры. Благодаря этому в Советском Союзе утвердился нигде в мире не имевший прецедентов опыт создания высокопроизводительной техники для проникновения в нижние слои земной коры.

В процессе проходки 11-километрового ствола (обсадными трубами закреплен только верхний 2-километровый интервал) обеспечен непрерывный отбор керна, регулярно проводится комплекс электрометрических измерений, обеспечивающий возможность активного регулирования вертикальности ствола скважины и комплексного исследования глубинной среды как внутри скважины, так и вокруг нее.

В результате успешной проходки Кольской скважины с июня 1979 г. (когда был превзойден последний американский рекорд, равный 9583 м) Советский Союз стал лидером в сверхглубоком бурении. При этом принципиально новой первич-

ной информацией<sup>7</sup> обогатились как науки о Земле, так и многие прикладные области, имеющие непосредственное народнохозяйственное значение.

О научных результатах бурения уже сообщалось читателям «Природы»<sup>4</sup>.

Фундаментальным по значению является тот факт, что на глубине около 7 км в данном месте отсутствует «базальтовый» слой. Вместо ожидавшегося резкого скачка скоростей сейсмических волн на предполагавшейся поверхности Конрада установлен относительно плавный рост этого показателя от 6,1 км/с на глубине около 7 тыс. м до 6,5—6,6 км/с на глубине 10 тыс. м.

К числу открытий относится и выявленная неизменность наклона слоев древних пород под углом от 45 до 60° во всем разрезе скважины — от поверхности до глубины 11 км. Это вступило в противоречие с данными ранее проведенных глубинных сейсмических исследований, согласно которым угол наклона слоев должен был постепенно, по мере увеличения глубины начиная с 4 км, «выполаживаться» до горизонтального залегания.

Как известно, к числу геолого-технических преимуществ, определивших место заложения сверхглубокой скважины на Кольском п-ове, ученые и проектировщики относили и характерный для геологических структур типа Балтийского щита относительно низкий геотермический градиент — в пределах 1°С/100 м. Это позволяло рассчитывать, что на предельной 15-километровой отметке скважины максимальная температура глубинной среды не превысит 150°С. Вполне понятно, что такой «мягкий» температурный прогноз вполне устраивал как буровиков, так и геофизиков. Ведь 150°С входит в диапазон забойных температур, при которых бурение и электрометрические исследования нефтяных и газовых скважин уже достаточно хорошо освоены.

Однако в действительности оказалось, что столь желательный низкий геотермический градиент характерен лишь для верхнего 3-километрового интервала недр Балтийского щита. Далее температура горного массива растет почти вдвое быстрее, чем предполагалось. В частности, на отметках 7, 8, 10 и 11 км температура глубинной среды оказалась равной соответственно 120, 130, 180 и 200°С. Рост интенсивности теплового поля в нижнем 3-кило-

метровом интервале на 70°С, по-видимому, вызван мощным тепловым потоком из мантии.

Если при дальнейшем углублении скважины геотермический градиент не изменится, то на предельной 15-километровой отметке проходчиков ждет «кольская баня» с температурой около 280°С.

Если продолжить экстраполяцию роста интенсивности теплового поля глубинного горного массива до еще более низких отметок, вплоть до поверхности Мохоровичича, то на предполагаемой глубине ее местонахождения здесь, около 40 км, следует ожидать температуры порядка 800°С. Однако, согласно результатам исследований А. А. Жамалетдинова<sup>5</sup>, температура земной коры на глубине 40 км в районе Балтийского кристаллического щита не превышает 400°С, что опять-таки соответствует среднему геотермическому градиенту 1°С/100 м.

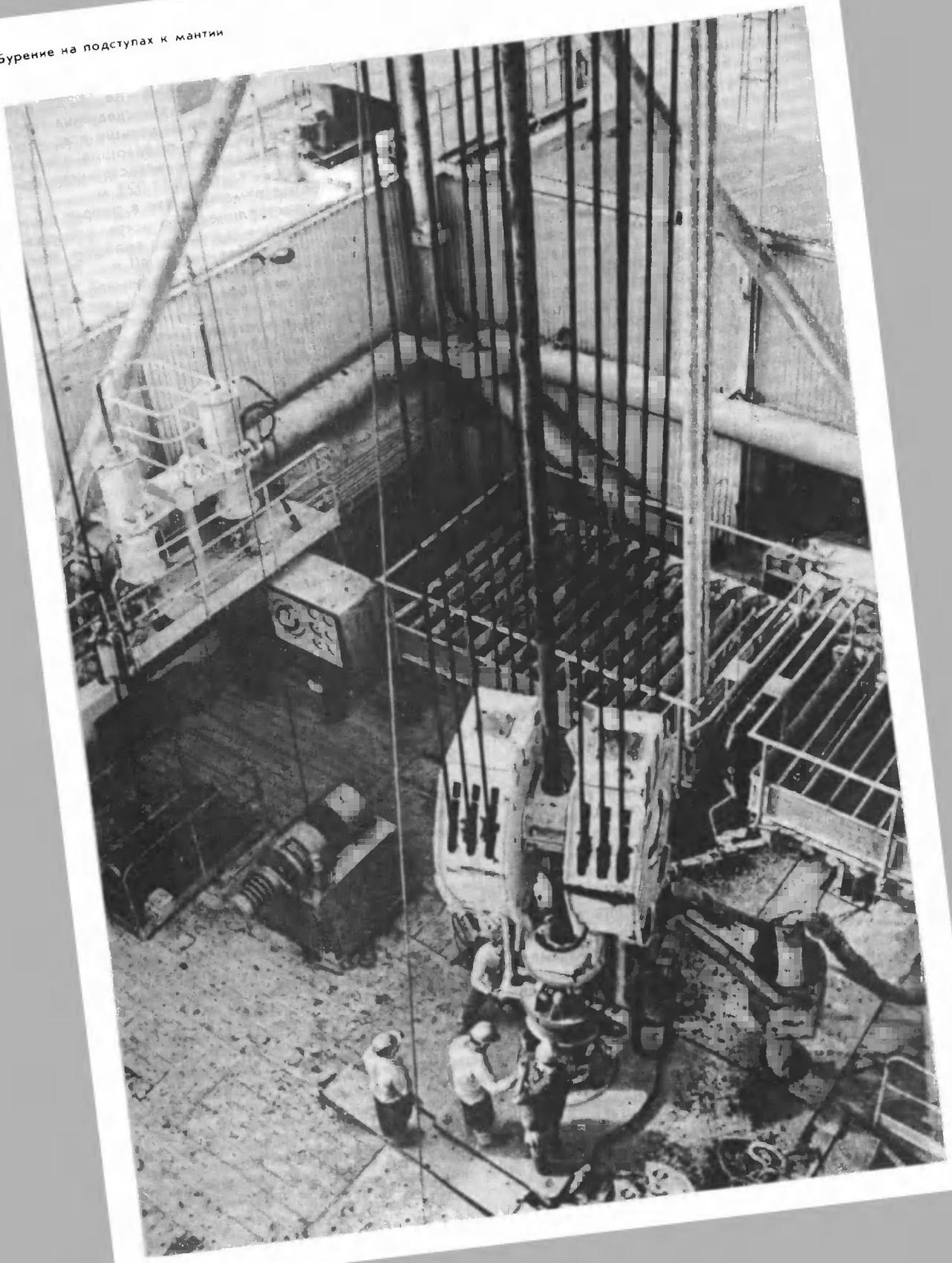
Как бы там ни было, но столь значительное расхождение между прогнозным и действительным темпом роста температуры в Кольской скважине ставит ученых и техников перед неизбежностью и в дальнейшем разрабатывать специальные технические средства и технологические приемы, чтобы преодолеть такие сугубо «тепловые» проблемы сверхглубокого бурения, как значительное снижение устойчивости стенок ствола скважины, повышение коррозионной активности глубинной среды и температурное фазовое разложение буровых растворов на водной основе. К тому же при температуре свыше 200°С значительно ухудшается стойкость долот, снижается эффективность использования турбобуров, электробуров и ограничивается применение дюралюминиевых бурильных труб, столь хорошо себя зарекомендовавших на первых этапах бурения скважины.

Но, пожалуй, больше всего взволновало ученых крушение еще одной гипотезы, согласно которой считалось, что в земной коре, сложенной, как полагали, плотными, непроницаемыми, кристаллическими породами докембрия, не может быть ни-

<sup>5</sup> Жамалетдинов А. А. Нормальный электрический разрез кристаллического фундамента и его геотермическая интерпретация по данным МГД-зондирования на Кольском полуострове. — В кн.: Глубинные электромагнитные зондирования с применением импульсных МГД-генераторов. Апатиты, 1982, с. 35.

<sup>4</sup> Белоусов В. В. Программа изучения глубинных недр Советского Союза. — Природа, 1982, № 1.

Бурение на подступах к мантии



каких водных растворов и обменных газовых процессов. Фактически же на глубине свыше 4,5 км обнаружены зоны тектонических нарушений, по которым непрерывно циркулируют высокоминерализованные растворы, содержащие бром, йод, некоторые тяжелые металлы, битумы и углеродистые вещества, а также газы — водород, гелий, азот и метан. Эти газы, выделяемые из толщ пород, вскрытых скважиной, блестяще подтверждают справедливость выдвинутой В. И. Вернадским концепции газового, в частности гелиевого, дыхания Земли. Надежно подтвердилось прикладное значение этой концепции, состоящее в том, что наличие гелия в породах свидетельствует о близости глубинных разломов земной коры, а количество выделенного газа дает представление о мощности этих разломов либо о размерах интервалов, представленных раздробленными породами. На глубине 4500—4600 м и 6000—6500 м скважиной вскрыты раздробленные породы, фрагменты которых цементированы кварцем, а также сульфидами ряда металлов (меди, железа, свинца, цинка, никеля, кобальта). Эти открытия свидетельствуют об активных процессах рудообразования в недрах Балтийского щита.

Неожиданностью стали находки в поднятом на поверхность керновом материале микрофоссилий — окаменевших остатков организмов, которые жили около 2 млрд лет назад. Эти неожиданные находки позволяют сделать вывод о том, что жизнь на Земле возникла гораздо раньше, чем до сих пор предполагали. Еще задолго до появления упомянутых организмов на планете сформировалась гидросфера, а в морях отлагались осадки. В образцах, поднятых с двухмиллиарднолетней глубины, обнаружены тонкозернистый песок и галька, окатанная в прибреях древних морей. Интенсивные исследования извлеченных из скважины окаменелых микроорганизмов заложили основу для нового направления науки, если можно так сказать, — сверхглубинной палеонтологии.

С точки зрения будущего развития теории и практики поисков и разработки глубинных месторождений руд, большим событием стала высокая железистость и слюдистость пород, поднятых с глубины более 9500 м.

Таким образом, Кольская сверхглубокая скважина уже дала геологии обильный фактический материал, непреходящая ценность которого с лихвой окупит все средства, вкладываемые в это грандиозное предприятие.

Имея по состоянию на 4 апреля 1982 г. забой 11 083 м, эта скважина продвинулась в недра Земли дальше всех горных выработок и даже превзошла известное ныне максимальное естественное понижение дна — глубину 11 022 м.

Следует отметить, что в районе Балтийского кристаллического щита, где размещена Кольская скважина, толщина земной коры составляет около 40 км. Планируемое достижение этой скважиной 15-километровой отметки следует рассматривать как генеральную репетицию будущего еще более дерзкого проекта, предусматривающего вскрытие всей толщи коры и проникновение в верхнюю мантию Земли.

### СААТЛИНСКИЙ ВАРИАНТ

В рамках программы сверхглубокого бурения, принятой еще в начале 60-х годов, в настоящее время ведется бурение второй сверхглубокой скважины в Муганской степи, близ небольшого азербайджанского городка Саатлы. Место заложения этой скважины соответствует «эпицентру» Куринской депрессии, где, по данным проведенных ранее гравимагнитных, а затем и других геофизических исследований, характерные «гранитный» и «базальтовый» слои земной коры (а следовательно, и граница Мохоровичича) локально приподняты до наименьшей глубины.

Для проходки скважины в Саатлах применяется точно такой же, как и на Кольском п-ове, но построенный в субтропическом исполнении, комплекс бурового оборудования «Уралмаш БУ-15 000». Рядом с 68-метровой призмой башенной вышки возведен корпус заводского типа, в котором установлено сложное энергетическое оборудование, а также уникальные буровые машины и механизмы. Поблизости от буровой построены хорошо оснащенный ремонтно-механический цех, лаборатория по первичной обработке и исследованию образцов горных пород, керноохранилище и, наконец, центральный пульт, откуда осуществляется контроль и управление буровыми процессами.

Бурение Саатлинской скважины было начато 9 июня 1977 г. Для обеспечения вертикальности наиболее ответственного начального интервала ствола скважины проходка его осуществлялась с помощью разработанного советскими инженерами реактивно-турбинного способа бурения. С этой целью были использованы спаренные реактивные турбобуры, применявшиеся до тех пор лишь при проходке шахтных стволов

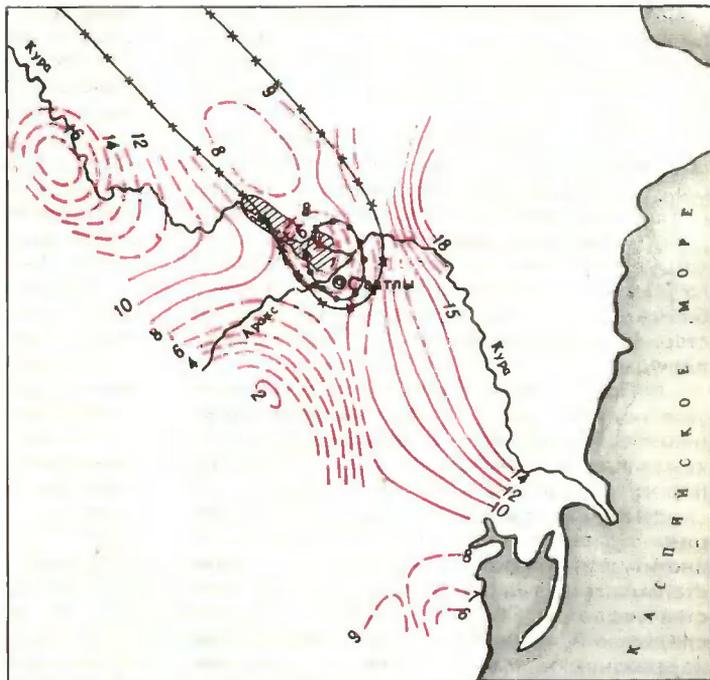
в угольной промышленности. После прокладки и калибровки ствола диаметром 730 мм в скважину опустили обсадную колонну диаметром 508 мм, нижний конец которой дошел до отметки 1232 м. Затем кольцевое пространство между трубами и обнаженными стенками скважины залили жидким цементным раствором, после затвердения которого вся 250-тонная трубнo-стальная броня оказалась намертво связанной с окружающим горным массивом. Успешное проведение этой операции явилось важной технической предпосылкой

Эта новая техническая колонна, верхнюю часть которой оборудовали мощными превенторными установками для своевременного прекращения и ликвидации внезапных выбросов нефти и газа, потенциально возможных при проходке характерного для Саатлинской скважины открытого ствола большой протяженности, обеспечивает надежную управляемость буровых процессов и безопасность персонала экспедиции в ходе дальнейшей работы.

Знаменующая окончание первого этапа бурения скважины отметка 7500 м

Схема строения поверхности фундамента Куринской впадины в районе заложения Саатлинской сверхглубокой скважины.

-  Глубина залегания поверхности фундамента, м
-  Джаллы-Саатлинское мезозойское поднятие
-  Саатлинская сверхглубокая скважина
-  Саатлинский гравитационный максимум
-  Саатлы-Геокчайский выступ



для безаварийной проходки всех последующих интервалов скважины.

Далее проходку ствола скважины до отметки 3550 м вели долотами диаметром 295 мм. Вслед за этим, удостоверившись в отсутствии серьезных технологических осложнений, ствол скважины расширили до диаметра 445 мм.

В середине октября 1978 г. буровики Саатлинской нефтеразведочной экспедиции провели в сверхглубокой скважине еще одну уникальную операцию: закрепили очередной 2318-метровый интервал открытого 445-миллиметрового ствола обсадной колонной диаметром 340 мм. Ее спустили до отметки 3550 м и зацементировали до устья.

была достигнута в начале сентября 1981 г. — на 185 суток раньше намеченного срока.

Сравнивая технико-экономические результаты бурения Кольской и Саатлинской скважин к моменту достижения половины проектной глубины — 7500 м, интересно отметить, что в Саатлах указанная отметка была достигнута примерно на 3 года быстрее и при гораздо меньших капитальных затратах. Это явилось прямым следствием творческого обмена опытом между азербайджанскими буровиками и их заполярными коллегами.

К 20 сентября 1982 г. Саатлинская скважина достигла глубины 8190 м. После проходки толщи мезозойских пород скважина войдет в палеозойский фундамент.

Благодаря использованию высокопроизводительных и стойких долот, разработанных Киевским институтом сверхтвердых материалов, достигнута относительно высокая скорость проходки Саатлинской скважины. Отдавая должное значению этого показателя, буровики считают, что для сверхглубоких скважин, пожалуй, наиболее важным требованием является полнота отбора кернового материала и точность прокладки траектории ствола в недрах горного массива. В Саатлах для этого эффективно используются центрирующие и стабилизирующие устройства, устанавливаемые в нижней части бурильной колонны. Тем самым удается поддерживать отклонение ствола скважины от вертикали в пределах установленной нормы.

Успеху саатлинских буровиков способствовало применение облегченных дюралюминиевых труб, редукторных турбобуров, автоматизированных систем проведения спуско-подъемных операций, приготовления, очистки и обработки бурового раствора, а также разработанного азербайджанскими инженерами метода очистки ствола скважины от частиц выбуренной породы.

При бурении Саатлинской скважины уже получен большой фактический материал о строении молодого осадочного комплекса Куринской впадины. Образцы пород, извлеченные с разных глубин, исследуются в тридцати научных лабораториях страны, в том числе и в Московском институте минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов Министерства геологии СССР. Результаты этих исследований помогли внести существенные коррективы в представление о строении недр, свойствах пород и характеристиках глубинной среды в Куринской впадине. В частности, температура на глубине 7500 м оказалась равной 133°C, т. е. на 17° ниже рассчитанной ранее на основании изучения интенсивности теплового поля в скважине-спутнике глубиной 6270 м, которая была пробурена в 100 м от устья сверхглубокой Саатлинской скважины.

Принципиально важным является и тот факт, что мощности пластов некоторых видов осадочных пород оказались значительно меньшими по сравнению с рассчитанными на основании геофизических исследований.

Установленное в Кольской и Саатлинской скважинах значительное несовпадение измеренных и расчетных мощностей ставит вопрос о необходимости более

строгой оценки результатов геофизических исследований при изучении процессов расслоения глубинных недр Земли.

По достижении глубины 15 км Саатлинская скважина открывает прямые подходы к однозначному решению задач по выявлению нефтегазоносности и рудоносности нижней части осадочно-вулканогенного комплекса и кристаллической части разреза, что имеет не только научное, но и прикладное, промышленно-экономическое значение. В частности, результаты этих исследований могут быть использованы для прогнозирования рудоносности некоторых сходных по строению участков Кавказских гор.

Убедительно показанная на Кольском полуострове и в Саатлах способность отечественной индустрии создавать надежное техническое, материальное и кадровое обеспечение проходки скважин глубиной 10 км и более, обусловила возможность разработки перспективной программы бурения около двух десятков скважин глубиной 7—12 км в наиболее интересных (с точки зрения ожидаемых научных и прикладных результатов) регионах территории Советского Союза.

Будущие сверхглубокие скважины можно разделить на две группы. К первой относятся скважины, предназначенные для изучения глубинного строения районов, предположительно богатых рудными полезными ископаемыми. Среди них Криворожская скважина на Украине, Тагильская — на Урале, Норильская — на севере Красноярского края, Мурунтауская — в Узбекистане.

Ко второй группе относятся скважины, предназначенные для исследования нефтегазоносности глубинных осадочных слоев. Это Восточно-Полтавская скважина на Украине, Кочмеская — в Печерской низменности, Афанасьевско-Троицкая — в Краснодарском крае, Тюменская — в Западной Сибири и Кенкиякская — в Прикаспийской низменности.

## Молекулярная история коряков Камчатки

В. А. Шереметьева, В. А. Горшков, Б. М. Медников

*Homo sapiens* — человек разумный — один из самых полиморфных видов, населяющих Землю. Начиная с первых схем Ф. Бернье и К. Линнея, антропологи пытались создать классификацию рас, наиболее полно отражающую многообразие популяций, слагающих человечество. Современные классификации — это сложные системы с внутривидовой иерархией группировок — от крупных стволов, возникших еще в палеолите, до локальных популяций, появление и распад которых происходит до настоящего времени.

До сих пор ведутся дискуссии о механизмах образования рас, родственных отношениях между популяциями, доле слагающих их компонентов, путях заселения ойкумены. Даже количество основных стволов, так называемых больших рас, неодинаково в разных системах — от двух и трех до пяти и более. Основная роль в формировании человеческих популяций приписывается или обмену генами, метисации, или гомологической изменчивости по Н. И. Вавилову.

Для построения систем и оценки степени генетического родства исследователи используют главным образом признаки фенотипа — будь то цвет кожи, волос, глаз, форма носа или черепа, черты лица, папиллярные узоры или же частота встречаемости в популяциях тех или иных аллельных форм белков. Современные методы химии нуклеиновых кислот в принципе позволяют изучать непосредственно генетический материал, определяющий все признаки человеческих популяций. Ряд особенностей эволюции и дивергенции нуклеотидных последовательностей ДНК делает это направление весьма перспективным.

### КОЛЛЕКЦИИ ГЕНОВ И ГЕНОМОВ

На уровне нуклеотидных последовательностей ДНК исключена (вернее, крайне маловероятна) их конвергенция. Зна-

чительно несходные последовательности в процессе эволюции не могут стать не только идентичными, но даже сходными. Поэтому, например, изучение на уровне ДНК может дать ответ на вопрос, принадлежат ли меланезийцы и африканские негры к одной «большой расе» (тропическому стволу) или же их фенетическое сходство объясняется параллельным развитием в специфических условиях влажных тропиков.

Для развития подобных исследований необходимо создать коллекцию препаратов ДНК представителей разных популяций человечества или, иначе говоря, банк геномов. Уже несколько лет такую коллекцию собирают авторы этой статьи. Сейчас она содержит больше 100 образцов ДНК, полученных из более чем пятидесяти популяций Европы, Азии и отчасти Африки. Разумеется, это только начало.

Ценность банка геномов не исчерпывается проблемами антропологии. В настоящее время усилиями многих исследователей по геной инженерии создаются также «банки генов» разных организмов (в том числе и человека), т. е. клонированные в плазмидах или векторных фагах последовательности ДНК с установленной функциональной значимостью. Выращивание их в бактериальных культурах позволит в ближайшем будущем широко использовать в медицине физиологически активные белки, такие как интерфероны, глобулины, гормоны, разнообразные ферменты. Создание таких банков генов — задача весьма трудоемкая. Подсчитано, что, для того чтобы с 99% вероятностью иметь любой ген кишечной палочки, нужно создать коллекцию в 1400 клонов-плазмид со встроенными в них случайно расщепленными последовательностями ДНК с молекулярным весом около 8,5 млн Д. Для генома дрожжевого грибка эта величина составит около 4600 клонов, а для дрожофилы уже 46 тыс.! Геном человека примерно в пять



Валентина Алексеевна Шереметьева, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник кафедры антропологии биологического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Занимается генетикой и экологией населения, структурой и эволюцией генома человека. Автор монографии: Популяционная генетика народов северо-восточной Азии. М., 1978.



Владимир Андреевич Горшков, младший научный сотрудник кафедры физиологии растений того же факультета. Область научных интересов — популяционная генетика и экология человека, эволюция ДНК человека.



Борис Михайлович Медников, доктор биологических наук, старший научный сотрудник Межфакультетской проблемной научно-исследовательской лаборатории молекулярной биологии и биоорганической химии им. А. Н. Белозерского Московского государственного университета. Занимается проблемами молекулярной и эволюционной генетики и общей биологии. Неоднократно печатался в «Природе».

раз больше генома дрозофилы, поэтому число клонов полного «академического собрания» генов человека должно превышать 230 тыс. Естественно, это работа не для одного учреждения и не на одно десятилетие.

Сейчас источники для получения человеческих генов выбирают большей частью случайно, без учета полиморфизма человеческих популяций. Чаще всего используются стабильно культивируемые клетки HeLa. Однако геном Элен Лэйк (Helen Lake), чьи опухолевые клетки послужили исходным материалом для штамма, естественно, не отражает всего богатства генофондов человеческих популяций. Ведь аллельных форм одних глобинов — белковых частей гемоглобина — уже сейчас

насчитывается более сотни, а даже по заниженным данным у человека полиморфны не менее 30% всех генов.

Поэтому наряду с банком генов нужно иметь банк геномов — коллекцию препаратов ДНК из возможно большего числа популяций, слагающих человечество. Разработанные в настоящее время методы позволяют выделить из ДНК разных популяций последовательности, гомологичные исследуемому гену, если он клонирован и ковалентно присоединен к твердому носителю. Выделенные таким способом аллельные формы генов клонируются в плазмидах и из них отбирается та, генопродукт которой даст, например, наилучший терапевтический эффект.

Такая коллекция для геномной инженерии

рии имела бы значение, аналогичное тому, которое имеет для селекции культурных растений коллекция сортов, собранная во Всесоюзном институте растениеводства Н. И. Вавиловым и его учениками и последователями. Иными путями сохранить неповторимое богатство и разнообразие генофондов человеческих популяций невозможно.

Закономерные исторические процессы, происходящие в человеческих популяциях, урбанизация, исчезновение сложившихся веками сторон хозяйственного уклада малых народностей, отмена и отмирание многих брачных ограничений приводят к быстрому распаду генетических изолятов. И раньше метисация играла большую роль в формировании человеческих популяций, но она никогда не имела современного размаха. Этот процесс неотвратим и необратим. В результате разрушаются генофонды локальных популяций, складывающихся многими веками, а то и тысячелетиями. Так, мы уже не можем полностью генетически охарактеризовать народности юкагиров и ительменов. Вероятно, ассимилирована чукчами малочисленная народность кереков, насчитывавшая к 1959 г. всего около 100 человек. Нет нужды увеличивать число подобных примеров; и так ясно, что со сбором материалов для банка геномов нужно спешить. После того как рецессивные аллели перейдут в гетерозиготное состояние, выявить их будет очень трудно, а может быть даже невозможно.

Но допустим, мы уже имеем коллекцию препаратов ДНК разных популяций человека. Как использовать ее в антропологических целях?

### ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДА МОЛЕКУЛЯРНОЙ ГИБРИДИЗАЦИИ ДНК

Метод молекулярной гибридизации ДНК-ДНК и ДНК-РНК достаточно хорошо известен<sup>1</sup>. Он основан на том, что двуцепочечные молекулы ДНК при нагревании или повышении pH распадаются на одноцепочечные комплементарные части (денатурация). Снижение температуры и pH приводит к восстановлению двойной спирали (ренатурация, или реассоциация). При этом возможна реассоциация комплементарных цепей из разных источников (молекулярная или гетерологичная ренатурация). Степень близости сравниваемых геномов оце-

нивается по количеству гибридных реассоциатов в процентах от гомологичной реакции ренатурации или же по их устойчивости к повышенной температуре, т. е. термостабильности. Чем более удалены друг от друга сопоставляемые геномы по последовательности нуклеотидов, тем больше доля дефектных гибридных дуплексов с «петлями» и «хвостами», менее термостабильных.

Для оценки молекулярной дивергенции гибридируемых ДНК мы предлагаем иной, непараметрический критерий — коэффициент дивергенции (CD). Как правило, для его расчета используются лишь те значения температуры, при которых отличия термостабильности гомо- и гетерологичных дуплексов достоверны (с вероятностью 0,95, однако можно использовать и более высокие фиксированные уровни достоверности).

Гибридизация суммарной ДНК генома не дает четких результатов при сравнении близких геномов (внутривидовых форм: подвидов, популяций, экологических форм). В этом случае используют фракции ДНК, дивергирующие с предельно высокой скоростью<sup>2</sup>. В 1974 г. Н. Райс впервые обнаружила в ДНК грызунов фракцию, реассоциаты которой имели высокую (выше 75°C в стандартном буфере) температуру плавления и не образовывались при гетерологичной ренатурации — ДНК мыши и крысы. Н. Райс сочла эту фракцию специфичной для вида и предположила, что она может быть видовым критерием. Это предположение оказалось преждевременным.

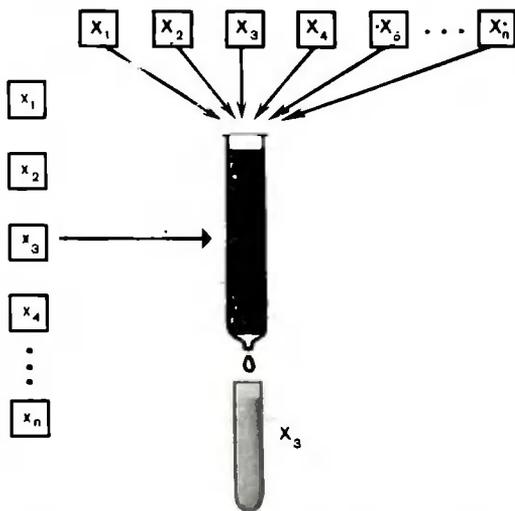
Один из авторов этой статьи обнаружил такую ДНК на другом объекте — лососевых рыбах — независимо от Райса, хотя и годом позже. Оказалось, что эта фракция, которую мы будем называть термостабильной ДНК, невидоспецифична. Такая ДНК образует гибридные дуплексы не только с ДНК того же вида, но и близких видов, причем часто процент связывания в гетерологичной реакции обратно пропорционален морфологической дивергенции, в том числе и структуре кариотипа. Обнаружена также и существенная внутривидовая изменчивость как по проценту гибридизации термостабильной ДНК, так и по коэффициенту дивергенции. Короче, мы

<sup>1</sup> Киселев Л. Л. Проект «Ревертаза» выполнен. — Природа, 1980, № 9,

<sup>2</sup> И наоборот, если требуется оценить дивергенцию весьма отдаленных друг от друга форм (разных классов, типов, а то и царств), исследуют наиболее консервативные участки генома, например цистроны рибосомной РНК.

не получили «абсолютного» критерия вида, однако анализ термостабильных дуплексов позволил значительно повысить разрешающую способность метода молекулярной гибридизации ДНК вплоть до выявления индивидуальной изменчивости. В принципе, нельзя различить лишь ДНК однойцевых близнецов.

Функции термостабильной ДНК пока неизвестны. Сейчас мы можем лишь сказать, что она состоит из повторяющихся сотни и тысячи раз последовательностей, рассеянных по геному позвоночных. Коли-



Выделение отдельных фрагментов ДНК из геномов представителей разных популяций. Фрагменты из банка генов (обозначены  $X_1, X_2, X_3$  и т. д.) после клонирования сорбируют в одностичной форме на колонке с твердым носителем. Фрагментированные ДНК из коллекции геномов (обозначены  $x_1, x_2, x_3$  и т. д.) поочередно пропускают через колонку, где образуются гибридные дуплексы из наиболее близких по последовательности фрагментов. Затем такие «гибриды» обрабатывают в мягких условиях денатурирующим реагентом и собирают в пробирку фрагмент ДНК из коллекции геномов. Полученный таким способом фрагмент переводят в двуичную форму для встройки в плазмиду и клонирования.

чество и сложность термостабильной ДНК (набор субфракций) может существенно изменяться в пределах одного вида. Часть ее можно, по всей вероятности, отождествить с так называемым семейством повторов (Al<sub>1</sub>), «вездесущих повторов», найденных в геноме человека<sup>3</sup>.

Не исключена возможность, что в термостабильную ДНК входят и тандемные последовательности приматов, обнаруженные Д. Джиллеспи<sup>4</sup>. Однако для полной идентификации этой фракции необходимо проделать большую работу, в ходе которой придется сопоставить фракции, выделенные из генома разными методами. Даже это вряд ли приблизит нас к пониманию функции термостабильной ДНК, что, впрочем, отнюдь не мешает использовать ее в качестве критерия близости человеческих популяций друг к другу. Это относится в равной мере и к микросистематике всех прочих позвоночных, а возможно, и всех ядерных организмов.

Для сравнения ДНК из разных источников в опытах по молекулярной гибридизации в качестве эталонной можно использовать не суммарную ДНК, а лишь ее части, например наиболее термостабильную, слагающие последовательности которой денатурируют при температуре 95°C. Мы считаем перспективным также ее фракционирование по степени повторяемости или же наличию в ней тех или иных участков нуклеотидной последовательности, легко гидролизующимся специальными ферментами — рестриктазами. В своей работе мы метили эталонную ДНК с помощью метилазы EcorII, осуществляющей метилирование участка 5'ЦЦАГГ 3', и отбирали те фракции эталонной ДНК, которые ренатурируют в гомологичной реакции с образованием дуплексов, имеющих температуру плавления 95°C и выше. О близости человеческих популяций мы судили по термостабильности гибридных последовательностей.

Ясно, что комбинация разных методов получения эталонной ДНК даст несравненно более обширную информацию: одна ее термостабильная фракция позволит точнее оценить близость крупных таксонов («больших рас», стволов), другая — мелких локальных популяций, третья окажется наиболее пригодной для изучения индивидуальной изменчивости и т. д. Именно с этой целью мы исследовали родственные связи небольшой, достаточно узко локализованной и до последнего времени не испытывавшей сильного влияния метисации народности коряков, хорошо изученной генетиками (по группам крови), лингвистами, археологами и этнографами.

<sup>3</sup> Hauck M. et al.— J. Mol. Biol., 1979, v. 132, p. 289.

<sup>4</sup> Gillespie D. et al.— Gene, 1980, v. 12, p. 103.

## КОРЯКИ: ПОИСКИ РОДСТВЕННИКОВ

Коряки — небольшая, численностью не выше 8 тыс. народность, проживающая в Корякском автономном округе Камчатской области. В наиболее разработанных антропологических классификациях коряков вместе с оленными и береговыми чукчами, эскимосами и ительменами относят к камчатскому типу арктической группы антропологических типов. Эта группа представляет большой интерес для антропологов хотя бы потому, что она обитает на том пути, по которому прошли в Америку предки американских индейцев. Загадочно ее происхождение: в ней объединяются многие антропологические признаки двух больших ветвей монголоидной расы — северных (континентальных) монголоидов Сибири и Центральной Азии и южных (тихоокеанских) монголоидов Восточной Азии и Дальнего Востока. Предполагается, что генотип населения, входящих в арктическую группу, сформировался из этих двух компонентов<sup>5</sup>. В последнее время интенсивно исследовалась генетика популяций коренных жителей Сибири и Дальнего Востока, в том числе и популяции коряков. Данные по 10 локусам маркерных генов свидетельствуют, что коряки занимают среднее положение между популяциями Сибири и Дальнего Востока, однако наибольший вклад в их генотип внесли континентальные монголоиды — древние народы Сибири<sup>6</sup>.

Ценные указания на родственные связи коряков дает археология. В первую очередь речь идет о найденных остатках древних поселений коряков-рыболовов и охотников на морского зверя. По материковому побережью северной части Охотского моря и Камчатки обнаружено около пятидесяти памятников культуры палеокоряков, ранние из которых датируются неолитом. Палеокорякская культура характеризуется остро- и круглодонными сосудами с ложнотекстильными оттисками (аналоги в Якутии и Прибайкалье), массивными архаичными теслами (аналог — ранний неолит р. Ангары) и каменными ножами и наконечниками стрел, также свидетельствующими о связях с континентальной Сибирью. В то же время древнекорякская приморская культура, близкая по укладу

к эскимосской, отличается от нее по ряду специфических признаков. С другой стороны, археологи обнаруживают связи древнекорякской культуры не только с внутриконтинентальными неолитом Сибири, но и с древними культурами Сахалина, нижнего Амура, Курильских о-вов. Особенно заметны связи с нижним Приамурьем по керамике, каменным и костяным изделиям, наконечникам гарпунов, деталям собачьей упряжи, плетеным изделиям из растительных волокон<sup>7</sup>.

Можно полагать, что неолитические племена древних коряков возникли в результате взаимной ассимиляции внутриконтинентальных охотников, вышедших на побережье Охотского моря, и продвигающихся на север приамурских и приморских племен. Этот процесс, начавшийся около 4 тыс. лет назад, завершился формированием древнего корякского этноса на рубеже нашей эры. Связи эти не прекращались и в дальнейшем, о чем свидетельствует сходство узоров на металлических изделиях коряков и приамурских племен, отмеченное В. И. Михельсоном и С. И. Ивановым.

В настоящее время коряки на севере смыкаются с чукчами, а на юге — с ительменами. Эти народы составляют единую языковую общность чукотско-камчатской семьи языков. Все попытки обнаружить связи этой семьи с другими языками до сих пор малоубедительны. Внутри семьи особняком стоит ительменский язык; корякский и чукотский значительно ближе друг к другу. Лингвистический анализ свидетельствует, что в настоящее время Сибирь и Дальний Восток заселены коренными народами, говорящими на языках алтайской (тюркские, монгольские и тунгусо-маньчжурские языки) и уральской (угро-финские и самодийские) семей. Однако среди них встречаются островки языков, не имеющих в этих гигантских семьях сколько-нибудь достоверных соответствий. Это, помимо чукотско-камчатской семьи, алеутский и эскимосский, а также языки юкагиров, кетов и нивхов.

Между собой они также не родственны, кроме языков алеутов и эскимосов (эскалеутская семья). Еще в прошлом веке академик Л. И. Шренк предложил объединить народы, говорящие на этих малораспространенных языках, в группу палеоазиатов. Как предполагал Шренк, в древности

<sup>5</sup> Шереметьева В. А., Рычков Ю. Г. Популяционная генетика народов северо-восточной Азии. М., 1978.

<sup>6</sup> Шереметьева В. А., Горшков В. А. — Генетика, 1977, т. XIII, № 6, с. 1118.

<sup>7</sup> Василевский Р. С. Происхождение и культура коряков. Новосибирск, 1971.

вся Северная Азия была населена палеоазиатами с менее выраженной монголоидностью. Возможно, что внешне они выглядели как метисные популяции монголоидов и европеоидов и имели менее плоское, чем у монголоидов, и более профилированное лицо, менее развитый эпикантус и более обильный третичный волосяной покров на лице. Впоследствии подавляющее большинство палеоазиатов было ассимилировано типичными монголоидами (тюрьками, тунгусо-маньчжурами), а также хантами и самодийцами. Этот процесс продолжается и сейчас.

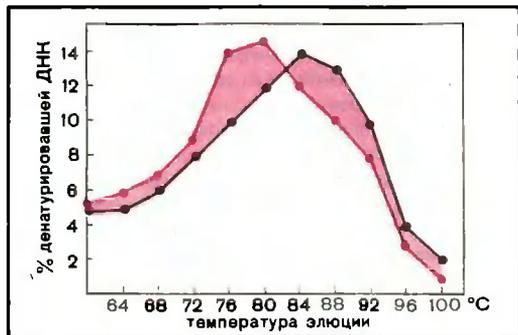
Выделенную Шренком группу палеоазиатов считали искусственной, поскольку объединяемые в нее народы ни по языку, ни по антропологическим признакам не схожи между собою. Однако древнее население Северной Азии еще в эпоху палеолита могло уже расслиться на самостоятельные этногенетические группы, связанные общим происхождением, но различающиеся как по языку, так и по морфологическим признакам. Отсюда следует важный вывод: если в основе каких-либо тюрко- и уралоязычных монголоидов Азии имеется древний палеоазиатский субстрат, его можно обнаружить методом молекулярной гибридизации ДНК. Для этого в качестве эталонной достаточно использовать ДНК представителя популяции чукчей или коряков, поскольку и те и другие принадлежат к палеоазиатской группе.

#### РОДСТВЕННЫЕ СВЯЗИ НА МОЛЕКУЛЯРНОМ УРОВНЕ

По гомологичности термостабильной ДНК коряки и чукчи действительно ближайšie родственники (для них коэффициент дивергенции не имеет достоверных различий), что хорошо согласуется с данными антропологии и лингвистики<sup>8</sup>. Иное положение с эскимосами: их термостабильная ДНК значительно отличается от такой же фракции ДНК коряков, коэффициент дивергенции для этой пары составляет 4,2. Таким образом, с генетической точки зрения арктическая группа оказывается разнородной.

Большинство исследователей признает эскимосов значительно более ранними обитателями северо-востока Азии, нежели чукчи и коряки. Дивергенция прежде единой эскалеутской общности на эскимосов и алеутов произошла не позднее

8—9 тыс. лет назад, а возраст эскимосского этноса составляет не меньше 4 тыс. лет<sup>9</sup>. Самые близкие соседи оказываются не самыми близкими родственниками. Ближе к корякам по термостабильной ДНК не эскимосы, а некоторые народности Сибири, не относимые к палеоазиатам. Так, коэффициент дивергенции эвенка всего 1,6, но ведь эвенки относятся не к арктической группе, а к байкальскому типу континентальных монголоидов. Еще более поразительна близость коряков по этому же признаку к якутам — коэффициент ди-



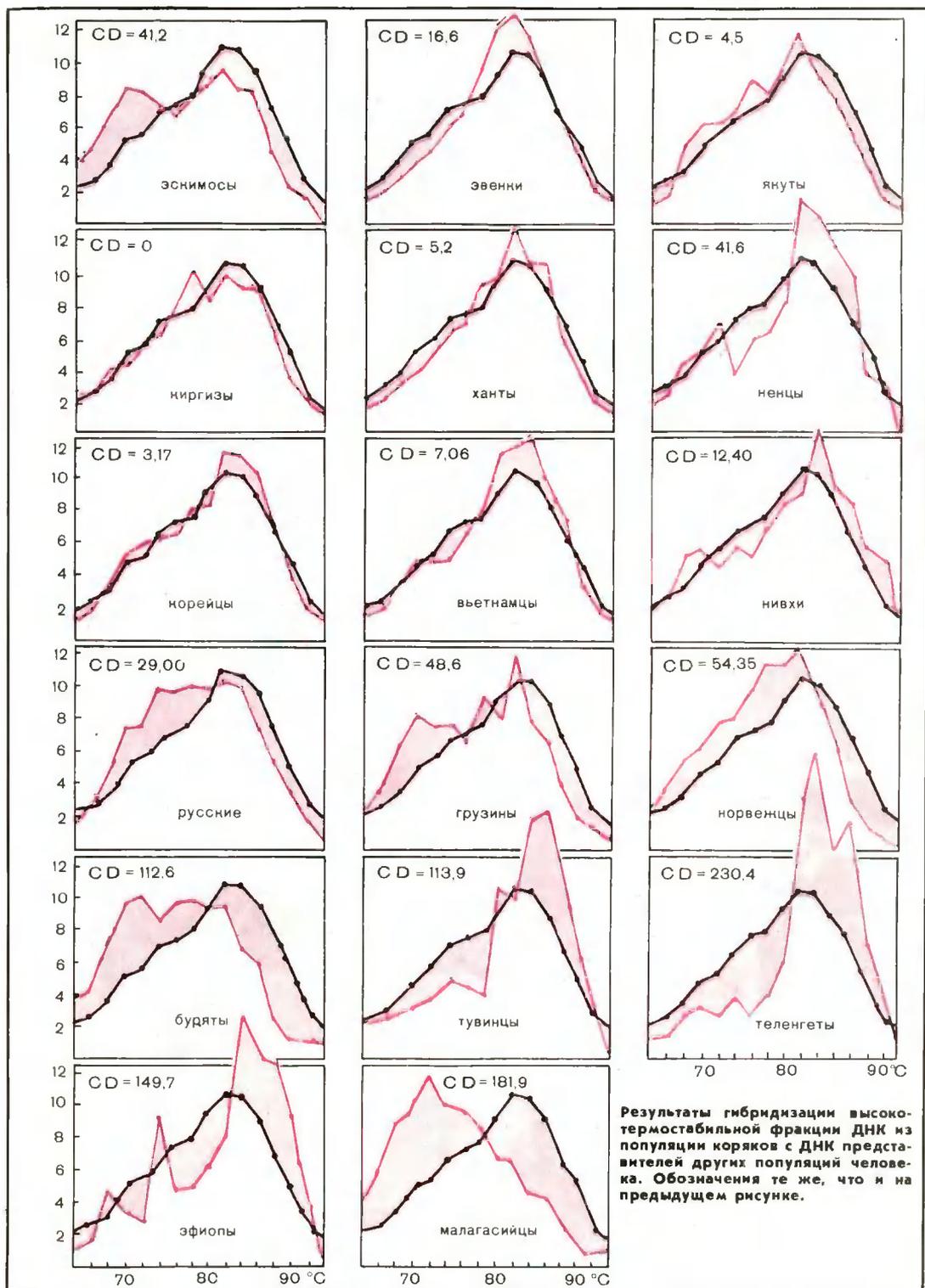
Определение сходства двух фракций ДНК. Как и в предыдущей схеме, сначала получают дуплексы ДНК в гомологичной реакции и гетерологичной, сорбированные каждый на своей колонке с твердым носителем. Затем эти дуплексы денатурируют, ступенчато повышая температуру, и определяют в каждой точке процент денатурировавшей ДНК. Так получаются две кривые, отражающие распределение гибридных дуплексов по термостабильности в гомологичной реакции (показано черной линией) и в гетерологичной (показано красной линией). Чем больше площадь, ограниченная этими кривыми, тем больше различия между собой образцы ДНК. Коэффициент дивергенции вычисляют по формуле:  $CD = \sum d^2 \log t$ , где  $d$  — разность в количестве (выражена в %) денатурировавших фрагментов в гомо- и гетерологичной реакции для каждой точки элюции. Чтобы придать больший вес отклонениям в высокотемпературной зоне, эта разность умножается на логарифм температурных точек элюции, ранжированных как 1, 2, 3 и т. д.

вергенции для них составляет лишь 4,5. Якуты — сравнительно недавние обитатели северо-востока Азии, их предки курыканы (племя гулигань старых китайских хроник) спустились по р. Лене в VI—VII вв. нашей эры. Поэтому должно принять, что в становлении эвенков и якутов участвовал мощный палеоазиатский пласт.

Придя на север, предки якутов и эвенков ассимилировали жившие там палеоази-

<sup>8</sup> Горшков В. А. и др. — Доклады АН СССР, 1977, т. 236, № 3, с. 752.

<sup>9</sup> Лафлин У., Окладников А. П. Происхождение алеутов. — Природа, 1976, № 1



Результаты гибридизации высоко-термостабильной фракции ДНК из популяции коряков с ДНК представителей других популяций человека. Обозначения те же, что и на предыдущем рисунке.



ненец



хант



киргиз



эвенк



якут



коряк



эскимос



тувинец



русский



норвежец



грузин



малагасиец



эфиоп



бурят



tseling



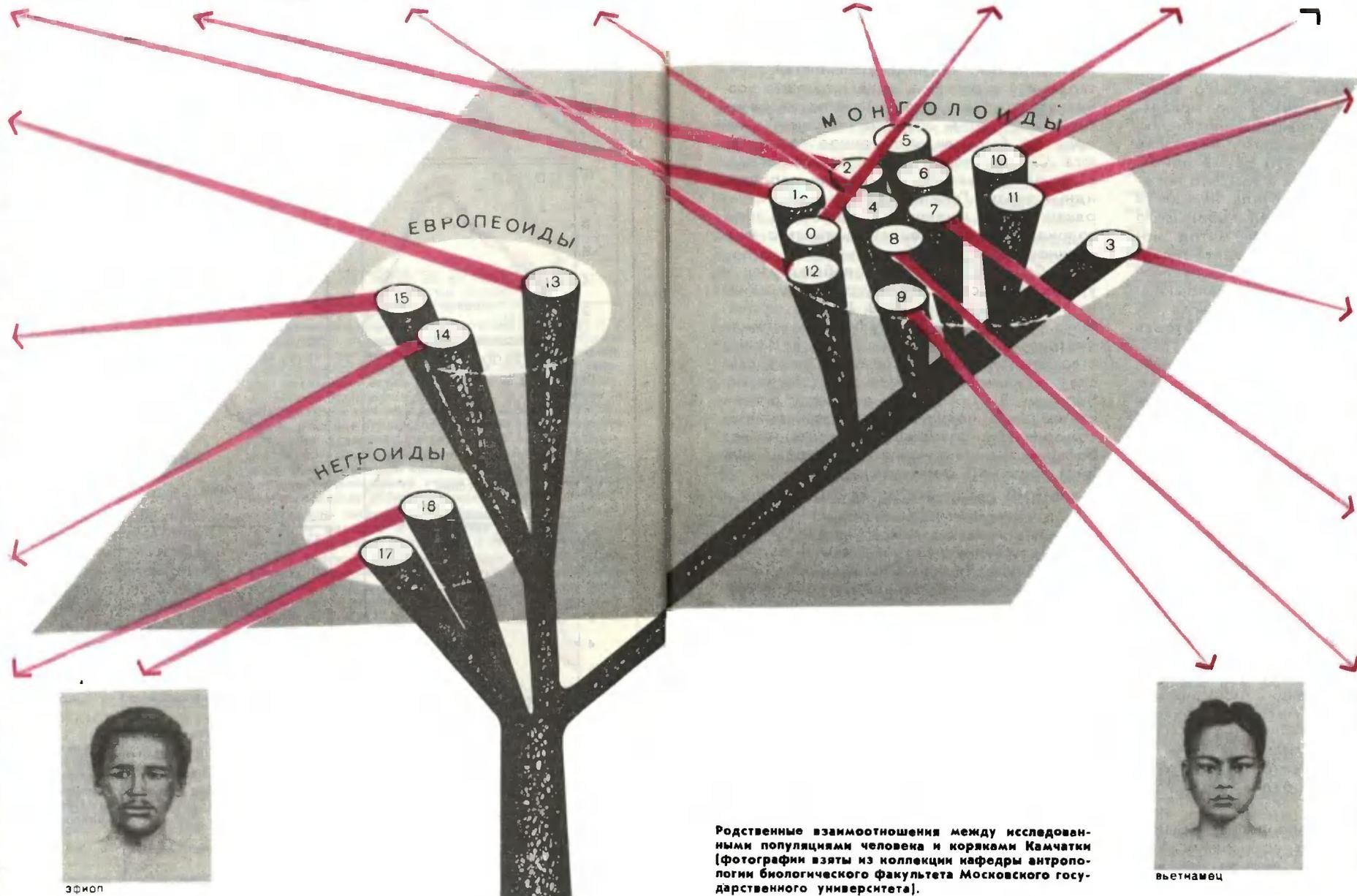
нивх



вьетнамец



кореец



Родственные взаимоотношения между исследованными популяциями человека и коряками Камчатки [фотографии взяты из коллекции кафедры антропологии биологического факультета Московского государственного университета].

атские народы, придав им черты большей монголоидности. Известно, что признаки, характеризующие «классических» монголоидов (сильно выступающие скулы, низкое переносье, специфическое строение века и др.) доминантны: дети от смешанных браков якутов и русских более похожи на якутов. Образно говоря, по крайней мере часть якутов можно назвать палеоазиатами в центральноазиатских масках. Как мы увидим далее, чистые центрально-азиатские группы отличаются по ДНК от коряков довольно резко.

Классификация по признакам фенотипа (степень выступления носа, строение верхнего века, профилировка лица, пигментация волос и глаз, развитие третичного волосяного покрова на лице) и по признакам генотипа (степень гомологичности нуклеотидных последовательностей) могут и не совпадать. Объясняется это двумя причинами. Первая заключается в том, что перечисленные признаки фенотипа находятся под контролем сравнительно небольшого числа генов, в то время как метод молекулярной гибридизации позволяет судить о сходстве десятков и сотен тысяч нуклеотидных последовательностей. Напомним, что на этом уровне сходство всегда соответствует генетическому родству. Вторая причина в том, что молекулярная гибридизация выявляет и рецессивные гены, скрытые в гетерозиготных популяциях, и те последовательности, которые выполняют регуляторные функции и непосредственно не формируют фенотип. На наш взгляд, это — достоинство геносистематического метода. Возможно, что родственные отношения между популяциями человека сложнее, чем это можно представить исходя из признаков фенотипа.

Все сказанное об эвенках и якутах как «скрытых» родственниках коряков представляется незначительным по сравнению с данными, полученными для представителей южносибирской (киргизы) и уральской (ханты, ненцы) групп антропологических типов. В самом деле, для пары коряк — киргиз  $CD = 0$ , т. е. отклонение от гомологичной реакции гибридизации не превышает ошибки метода и вариаций внутри корякской популяции. Для пары коряк — хант  $CD = 5,2$  и лишь для пары коряк — ненец приближается к 41,6, т. е. дивергенция того же порядка, что и у эскимосов.

Большинство антропологов в настоящее время принимают, что южносибирская раса возникла в период от эпохи бронзы до позднего средневековья

в результате метисации. Автохтонное (местного происхождения) европеоидное население Казахстана и Средней Азии на протяжении 2—3 тыс. лет смешивалось с монголоидными племенами, шедшими с востока. Этот процесс хорошо документируется палеоантропологическими данными. Однако анализ опытов по молекулярной гибридизации позволяет по-другому взглянуть на эту проблему. Окончательное ее решение требует ряда экспериментов с перекрестной гибридизацией ДНК европеоидов, монголоидов и представителей южносибирской расы. Однако уже сейчас ясно, что из сочетания двух комплексов нуклеотидных последовательностей, несходных с корякским, вряд ли может возникнуть комплекс, идентичный последнему. В связи с этим уместно поставить вопрос: не было ли автохтонное население юга Сибири «скрытыми» палеоазиатами, т. е. палеоазиатами, имевшими европеоидные черты? Генетическая близость к корякам якутов, имеющих выраженные монголоидные черты, свидетельствует о возможности такой комбинации.

Сходное положение наблюдается с уральской расой (финно-угры и самодийцы). За исключением В. В. Бунака, считавшего, что уральские популяции сохранили нейтральный протоморфный тип, большинство антропологов полагают, что уральская раса имеет метисное происхождение. Впрочем, В. П. Алексеев допускает в этом случае следы недифференцированной протоморфности. Возможно, эти следы имеют большее значение, чем это следует из анализа признаков фенотипа.

Что касается родства с коряками представителей тихоокеанской общности антропологических типов (кореец и вьетнамец), данные молекулярной гибридизации не расходятся с общепринятыми в антропологии: коэффициент дивергенции соответственно равен 3,17 и 7,06. Это хорошо согласуется с палеоантропологическими и археологическими данными, свидетельствующими о формировании арктических типов из сочетания континентальных и тихоокеанских народов. Оказалась достаточно близкой к корякам и группа нивхов ( $CD = 12,40$ ), выделенная М. Г. Левиным в отдельный амуро-сахалинский тип.

Таким образом, все эти данные — пока свидетельство того, что коряки, как и чукчи, действительно являются потомками прежде широко распространенных в Северной Азии недифференцированных монголоидов со слабо выраженными монголоидными чертами. Впоследствии, уже в

конце неолита, из Центральной Азии начали проникать дифференцированные монголоиды, и процесс завершился в раннеисторическое время миграциями тунгусо-тюркоязычных племен на север, северо-восток и северо-запад. Однако в современных популяциях сохраняется генетический субстрат, характерный для автохтонного населения Сибири и Урала.

Предельно дифференцированные монголоиды центральноазиатской группы антропологических типов еще более дивергировали от представителей арктической группы. Так,  $CD$  для бурята равно 112,6, для тувинца — 113,9 и для теленгета — 230,40.

В каком отношении находились палеоазиаты с европеоидным населением, обитавшим западнее Урала? Как показывают данные молекулярной гибридизации,  $CD$  для пары коряк — русский равен 29, коряк — грузин — 48,6 и коряк — норвежец — 54,35. Результаты довольно примечательны: ближе всего к автохтонному населению севера Азии оказываются народы Восточно-Европейской равнины, кавказские же и скандинавские популяции дивергировали значительно.

В графиках распределения термостабильности гибридных дуплексов ДНК коряк — тувинец и коряк — теленгет есть одно примечательное свойство: термостабильность значительной части гибридных молекул в гетерологичной реакции оказывается выше, чем в гомологичной. На первый взгляд это кажется несуразным, но имеет хорошее объяснение. Подобные случаи уже встречались в нашей практике, например, при гибридизации ДНК разных форм хариусов. Вспомним, что термостабильная ДНК по составу гетерогенна, она содержит, по-видимому, несколько десятков субфракций, каждая из которых образована десятками тысяч идентичных последовательностей. Чем больше таких субфракций, тем она сложнее. Если сложность термостабильной ДНК больше у эталонной формы, нежели у исследуемой, то в гетерологичной реакции образуется больше термостабильных дуплексов, чем в гомологичной.

Для сравнения мы провели серию опытов по молекулярной гибридизации ДНК коряка с ДНК представителей тех популяций, с которыми в последние 20 тыс. лет заведомо не было обмена генами — с ДНК эфиопа и антандруа-малагасийца (негрский тип о-ва Мадагаскар). Эфиопская раса характеризуется сочетанием негроидных и европеоидных черт,

коэффициент дивергенции для нее равен 149,7. Автохтоны Мадагаскара — антандруа-малагасийцы — по облику негроиды, хотя имеют примесь индонезийской крови и говорят на индонезийском языке,  $CD$  для них 181,9. Недостаточность материала по негроидам не позволяет нам сделать какие-либо выводы о происхождении и относительной близости «больших рас». Мы должны учитывать не только время, но и скорость дивергенции и направление ее.

★

Будущее молекулярной филогении популяций человека представляется нам в развитии работ по двум направлениям. Первое из них — дальнейшее совершенствование методов. Фрагментирование ДНК, в наших опытах пока случайное, стохастическое, должно быть заменено адресованным по специфическим участкам с помощью рестриктаз. Это позволит в дальнейшем не только судить о степени дивергенции, но и определить, по каким именно последовательностям дивергировала та или иная популяция, выделить специфичные для нее участки, клонировать и расшифровать их нуклеотидные последовательности.

Развитие второго направления неразрывно связано с дальнейшим пополнением «банка геномов». Безусловно, недостатка в темах в этом случае не будет. Достаточно назвать такие проблемы, как выяснение родственных связей американских индейцев, австралийских аборигенов, айнов, бушменов и дравидийского населения Индии, кетов, саамов; ждут объяснения и процессы, происходящие в Латинской Америке, где идет интенсивное смешение популяций, относящихся к разным «большим расам», и многие другие.

Возникает и еще одна проблема, требующая разрешения. По-видимому, комплекс последовательностей термостабильной ДНК наследуется как единое целое, мало изменяясь при метации и последующем многократно повторяющемся мейотическом дрейфе (перекombинациях отцовских и материнских хромосом при становлении гамет) и кроссинговере. Еще неизвестные нам механизмы его наследования и изменения могут отличаться от механизмов передачи потомкам других известных сейчас компонентов генома.

Пока же, изучив родственные отношения небольшого этноса, населяющего крайний северо-восток Азии, мы лишь приоткрыли занавес, скрывающий от исследователей необычайно интересное поле деятельности.

## Погода и климат океана

А. С. Монин, Д. Г. Сеидов



Андрей Сергеевич Монин, член-корреспондент АН СССР, директор Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР. Автор исследований по океанологии, физике атмосферы, планетарной геофизике, механике жидкости и газа, геофизической гидродинамике. Автор многих книг, и в том числе: История Земли, М., 1977; История климата. М., 1978. Неоднократно печатался в «Природе».



Джаваншир Гасанович Сеидов, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник того же института. Занимается численным моделированием океанской циркуляции и процессов синоптического масштаба в океане.

Погода и климат. Эти знакомые и понятные всем термины большинство людей связывают с состоянием атмосферы Земли. Однако в последние годы их начинают использовать и в океанологии.

История геофизики показывает, что в изучении атмосферной циркуляции прогресс до сих пор был более быстрым, чем в понимании циркуляции океана. Это можно объяснить практическими потребностями человечества и большей доступностью измерений в атмосфере, чем в океане. Однако в последнее время интерес к исследованию Мирового океана и технические возможности возросли настолько, что можно говорить о сокращении разрыва в уровне знаний и степени понимания физики общей циркуляции ат-

мосферы и крупномасштабных океанских течений.

Особую роль в этом сыграли длительные наблюдения за океанскими течениями на полигонах в открытом океане. Советские экспедиции «Полигон-1967» в Аравийском море, «Полигон-70» в тропической Атлантике и советско-американская «ПОЛИМОДЕ», работавшая в 1977—1978 гг. в Бермудском треугольнике, показали, что на фоне давно известных крупномасштабных течений в океане развиваются интенсивные вихревые движения, похожие на хорошо изученные циклоны и антициклоны в атмосфере. Такие движения называют синоптическими вихрями в океане. Качественно эти движения в двух средах аналогичны, хотя океанские вихри имеют свои

отличительные особенности и иные количественные показатели.

Можно считать, что имеет место существенное единообразие механизмов синоптической изменчивости общей циркуляции атмосферы и океана. Поэтому мгновенные состояния крупномасштабных гидрофизических полей океана естественно называть его погодой, а статистический набор состояний, проходимых океаном за несколько десятилетий, — его климатом. Такое определение климата океана практически совпадает с определением климата Земли в целом (так как океан — это самое инерционное звено в климатической системе океан — суша — атмосфера). Значит, климат океана существенным образом определяется синоптическими вихрями и многие сложившиеся в теории динамики атмосферы положения (например, об энергетике образования вихрей, о предсказуемости погоды и климата и т. д.) могут быть применены и в теории циркуляции океана. Очевидно, что с этой точки зрения сравнение океанской и атмосферной погоды представляется весьма полезным. Именно в понимании роли погоды океана лежит, как мы думаем, ключ к объяснению общей циркуляции океана, поскольку значительные успехи метеорологов в построении теории крупномасштабных движений воздуха были достигнуты, когда удалось найти связь этих движений с синоптическими процессами, т. е. с погодой в атмосфере Земли.

## МЕХАНИЗМЫ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ

В целях такого сравнения дадим краткое описание основных механизмов общей циркуляции атмосферы. Ее первопричиной является приток тепла в виде солнечной радиации, часть которой отражается от атмосферы, а часть поглощается воздухом. Однако большая доля радиации проникает до самой поверхности Земли, нагревает ее, затем излучается и переизлучается нижними слоями атмосферы и в итоге уходит в космическое пространство. В результате атмосфера нагревается в основном снизу, подстилающей поверхностью, и этот нагрев имеет преимущественно зональный характер — экваториальная зона нагрета сильнее, поскольку получает тепла больше, чем полярные области. Вследствие расширения толщина нагретых слоев воздуха увеличивается и центр тяжести воздушных масс в низких широтах приподнимается, а толщина

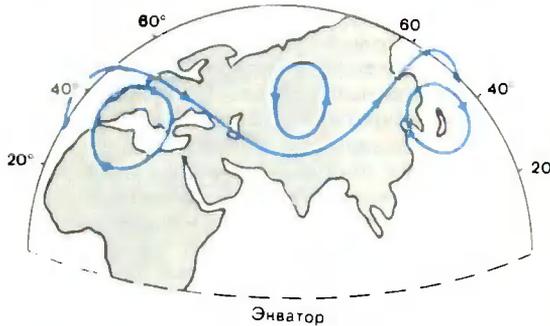
холодных слоев воздуха в высоких широтах уменьшается, и их центр тяжести понижается. Таким образом, в результате теплового расширения — сжатия, причиной которого является температурный контраст между полюсом и экватором, появляется зональная потенциальная энергия атмосферы.

Из-за разности атмосферного давления возникают меридиональные потоки воздуха от экватора к полюсам на верхних уровнях и компенсирующие притоки из умеренных широт к экватору в нижних слоях атмосферы. Поток воздуха к полюсам на верхних уровнях поворачивает под действием вращения Земли на восток, формируя в атмосфере умеренных широт западно-восточный перенос. В таком циркулярном полярном круговороте на высоте около 12 км образуются относительно узкие (300—400 км шириной и 1—2 км толщиной) так называемые струйные течения со скоростями более 60 м/с, мигрирующие в зонах от 30 до 45° с. ш. и ю. ш.

Струйные течения оказываются неустойчивыми. Неустойчивость вызывается случайными флуктуациями, которые, забирая энергию у струйного течения, разрастаются и образуют волны, бегущие вдоль стрейния струи с востока на запад со скоростями порядка 10 м/с относительно западно-восточного переноса. Сама струя при этом извивается (меандрирует) с амплитудой порядка 100 км. Такие волны, налагающиеся на струйное течение и порожденные его неустойчивостью, получили название волн Россби — Блиновой. На круге широты вдоль струйного течения укладываются обычно 4—8, а чаще всего 5—6 волн, т. е. длины этих волн составляют около 4000 км. Вблизи струйного течения, в ложбинах и гребнях волн Россби — Блиновой в шахматном порядке формируются круговые движения — циклоны вокруг центров пониженного и антициклоны вокруг центров повышенного давления.

Между этими циклоническими и антициклоническими вихрями возникают седловые области, вдоль осей сжатия этих областей — высотные фронтальные зоны, определяющие движения воздуха в нижней атмосфере и у поверхности Земли, где в результате сталкиваются холодные и теплые массы воздуха. Образующие фронты, в свою очередь, часто оказываются неустойчивыми, возмущения на них разрастаются в приземные циклоны и антициклоны, меньшие по масштабу, чем волны на струйном течении. Таким способом создается потенциальная энергия вихрей за счет зо-

нальной потенциальной энергии и кинетической энергии крупномасштабных течений, а вследствие неустойчивости, за счет потенциальной энергии вихрей, генерируется вихревая кинетическая энергия. Непосредственный обмен кинетической энергией между крупномасштабными течениями и вихрями довольно сложен, и этот вопрос обсуждается ниже. Приземные вихри иногда проникают в верхние слои атмосферы и становятся однородными по вертикали. В таких вихрях скорость вращения почти постоянна по высоте. Процесс, при котором



Схематическое изображение струйного течения в атмосфере Северного полушария. Меандры струи образованы волнами Россби — Блэнковской, движущимися вдоль стержня струи с востока на запад относительно самого течения. В ложбинах и гребнях эти волны образуются циклоны и антициклоны.

движение становится двумерным, или горизонтальным, называют баротропизацией вихрей (движение баротропной жидкости характеризуется отсутствием сдвига скорости по вертикали).

Численные расчеты и анализ наблюдений показывают, что баротропизирующиеся вихри превращают часть своей кинетической энергии в кинетическую энергию струйных течений. Тем самым они создают так называемую отрицательную вязкость. Это парадоксально звучащее название относится к течениям, в которых в результате нелинейных взаимодействий между движениями разных масштабов в среднем происходит передача кинетической энергии от движений малых к движениям больших масштабов (обычная вязкость приводит к противоположному эффекту).

### КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ТЕЧЕНИЯ И ВИХРИ ОКЕАНА

В отличие от атмосферы океан нагревается не снизу, а сверху и получает извне не только тепло, но и количество движения.

В атмосфере движение возникает из-за неравномерного нагрева, а в океане, в первую очередь, за счет трения ветра о свободную поверхность океана, и этот фактор как движущая сила намного значительнее, чем неравномерный нагрев океанской поверхности. Второе важное отличие океанских течений от атмосферных состоит в наличии меридиональных границ. Ветровое воздействие на поверхность океана в сочетании с меридиональной ограниченностью зонального движения, с вращением Земли и ее сферичностью (сила Кориолиса изменя-

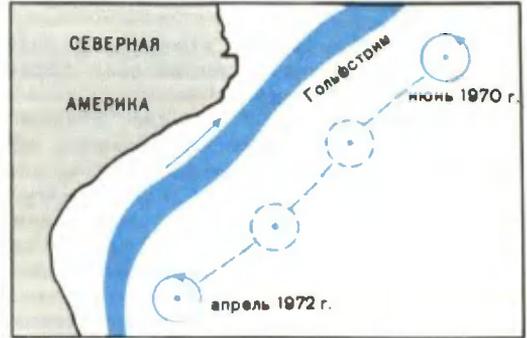


Схема движения ринга — циклонического вихря с ядром холодной воды с мая 1970 г. по апрель 1972 г. Такие вихри хорошо прослеживаются с искусственных спутников Земли. Вихри движутся в системе так называемых рециркуляционных потоков с северо-востока на юго-запад.

ется с широтой) создает циркуляция с западно-интенсифицированными струйными течениями типа Гольфстрима (тогда как в Южном океане, где нет меридиональных препятствий, развито Циркумполярное антарктическое течение, аналогичное западным ветрам в атмосфере). Струйные течения океана в десятки раз уже и медленнее атмосферных. Скорость Гольфстрима достигает лишь 1—2 м/с, а его ширина — порядка 50 км.

Важным отличием океана оказывается его значительно более слабая гидростатическая устойчивость, чем в атмосфере. Если неустойчивость атмосферы создается нагревом снизу, от поверхности Земли, то для океана к гидростатической неустойчивости приводит, в основном, охлаждение сверху. В океане имеется верхний перемешанный слой. Когда океан нагревается сверху, то этот слой тонок, поскольку он не может перемешиваться с нижележащей водой: теплая вода легче холодной, и конвективного перемешивания не происходит. Если же океан охлаждается сверху (путем излучения поверхности, контактного

теплообмена с более холодным воздухом и, наконец, вследствие испарения), то происходит опускание охлажденных вод, создающее сильное перемешивание, пока не восстановится гидростатическое равновесие. Гидростатическую устойчивость можно охарактеризовать частотой возможных вертикальных колебаний жидких частиц. В среднем в атмосфере эта частота оказывается порядка  $10^{-2} \text{ с}^{-1}$ , а в океане приблизительно  $\cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ .

Гидродинамическая теория показывает, что типичный горизонтальный масштаб

создающих погоду вихрей пропорционален толщине охваченного ими слоя и упомянутой частоте вертикальных движений частиц. В атмосфере получается типичный горизонтальный масштаб порядка 2000 км, а в океане — около 50 км. Период соответствующих волн обратно пропорционален горизонтальному масштабу, в атмосфере — это десятки часов, а в океане — около месяца. Скорость этих волн (пропорциональная их длине, деленной на период) в океане составляет всего 5 см/с, против 10 м/с в атмосфере. Таким образом, из-за

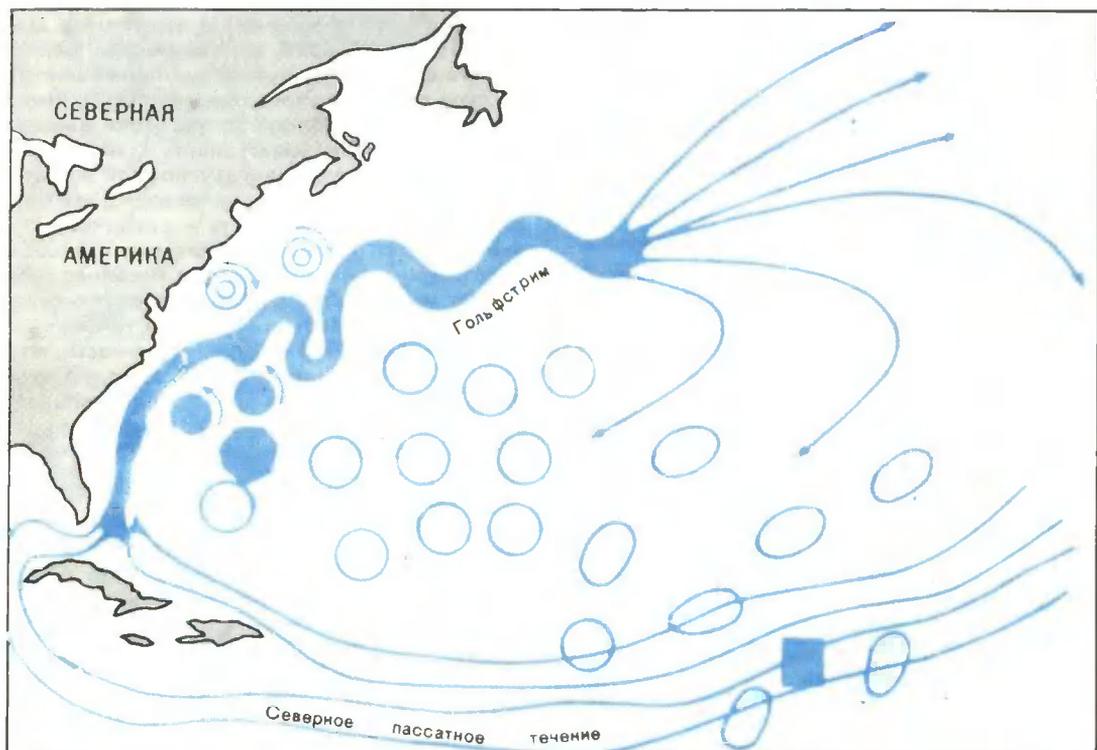


Схема крупномасштабной циркуляции океана и синоптических вихрей в северо-западной части Атлантического океана. Во фронтальной зоне течения Гольфстрим генерируются циклонические и антициклонические ринги. Вихри волновой природы формируются во фронтальной зоне и в открытом океане.

-  Антициклонические ринги
-  Циклонические ринги
-  Вихри волновой природы
-  Советский полигон «ПОЛИМОДЕ»
-  «Полигон-70»

того что частота возможных вертикальных колебаний (ее также называют частотой Вайселя — Брента) в океане на порядок меньше, чем в атмосфере, океанские вихри оказываются в десятки раз меньшими по размерам и в сотни раз более медленными и долгоживущими.

Аналогами волн Россби — Блиновой на атмосферных струйных течениях в океане являются меандры струйных течений. При отсечении меандров образуются круговые течения, так называемые ринги — вихри, содержащие ядра холодной воды с циклоническим (т. е. против часовой стрелки) вращением, и вихри, содержащие ядра теп-

лой воды с антициклоническим вращением (т. е. вращением по часовой стрелке). Ринги перемещаются вместе с захваченной ими водой и в этом смысле являются собственно вихрями, а не волнами. Двигаются они весьма медленно и живут достаточно долго — до 2—3 лет. В конце своей жизни они либо рассасываются, либо захватываются струйным течением и диссипируют в нем.

В океане, по-видимому, нет аналогов приземным циклонам и антициклонам атмосферы, поскольку придонные воды в значительной степени однородны, около дна в океане фронты не образуются. Однако место атмосферных приземных вихрей занимают вихри открытого океана, возникающие прежде всего из-за неустойчивости даже слабых его течений. Кроме того, в океане должно возникать значительное число вихрей при обтекании неровностей рельефа дна, так как отношение толщины вод к неровностям рельефа здесь меньше, чем в атмосфере. Наконец, не исключена и генерация океанских вихрей прямыми атмосферными воздействиями, причем генерируемые таким образом вихри должны быть выраженными в верхних слоях океана.

Представляется полезным классифицировать основные элементы погоды океана. Синоптические вихри в океане можно подразделить по механизмам их образования на фронтальные — меандры на струйных течениях и ринги (категория I); свободные вихри (или вихри открытого океана), порожденные вследствие внутренней неустойчивости вихрями категории I (категория II); топогенные вихри (категория III) и порожденные атмосферными воздействиями (категория IV). По направлению вращения они делятся на циклонические и антициклонические. Далее их можно различать как вихри, перемещающиеся вместе с содержащейся в них водой, и волны, бегущие по воде, причем в последнем случае можно особо выделить уединенные волны, или солитоны. Наконец, все эти образования можно различать по возрастам. Несмотря на очевидное сходство синоптических процессов в атмосфере и океане, океанские вихри вследствие множественности и распространенности механизмов их генерации, слабого затухания и способности отражаться от берегов (еще одно отличие океана) могут образовывать гораздо более развитое волновое поле, и можно сказать, что погода океана сложнее атмосферной.

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНОПТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Для объяснения и описания флуктуирующей общей циркуляции атмосферы в первой половине нашего столетия были предприняты значительные усилия, но в связи с тем, что динамика атмосферы существенно нелинейна (и, следовательно, ее уравнения, которые содержат слагаемые, описывающие взаимодействие движений разных масштабов, очень сложны), быстрое продвижение в понимании физики крупномасштабных процессов в атмосфере началось лишь с появлением электронных вычислительных машин. Оно, вероятно, берет начало со времени публикации знаменитой работы американского океанолога Н. Филлипса в 1956 г.<sup>1</sup> Филлипс построил весьма простую модель циркуляции атмосферы, представляемой в виде двуслойной жидкости. Модель тем не менее показала, что без явного описания циклонов и антициклонов невозможно правильно воспроизвести общую циркуляцию атмосферы. Филлипс тщательно и подробно изучил энергетические превращения в системе средние течения — синоптические вихри. Было, в частности, показано, что струйное течение западных ветров создается эффектом отрицательной вязкости. Затем последовало множество работ с несравненно более развитыми чис-

<sup>1</sup> Phillips N. A.— Quart. J. Roy. Met. Soc., 1956, v. 82, № 1, p. 123.

Эволюция средних по глубине течений, рассчитанных по модели циркуляции в идеализированном бассейне прямоугольной формы с ровным дном (модель Института океанологии АН СССР). В виде изолиний на картах представлены течения, получающиеся после достижения статистически стационарного режима через 2233 суток после начала движения в модели (а), через 6 (б), 12 (в), и 18 (г) суток после этого момента. Чем гуще проведены изолинии, тем интенсивнее полный расход воды вдоль изолиний через перпендикулярное и ним сечение. Струйное течение, образующееся вдоль западного берега (левые части рисунков) и отрывающееся от него приблизительно по средней широте области, является аналогом струйных течений в океане типа Гольфстрима. Видно образование мощного меандра струйного течения, превращающегося в циклонический вихрь (в центре рисунка).



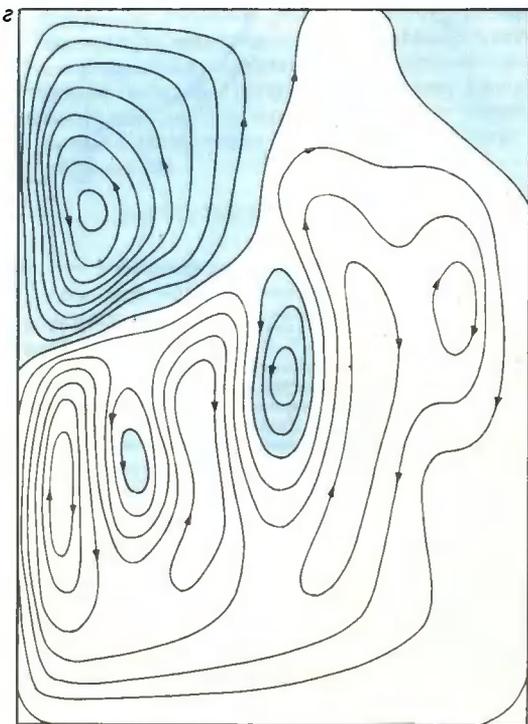
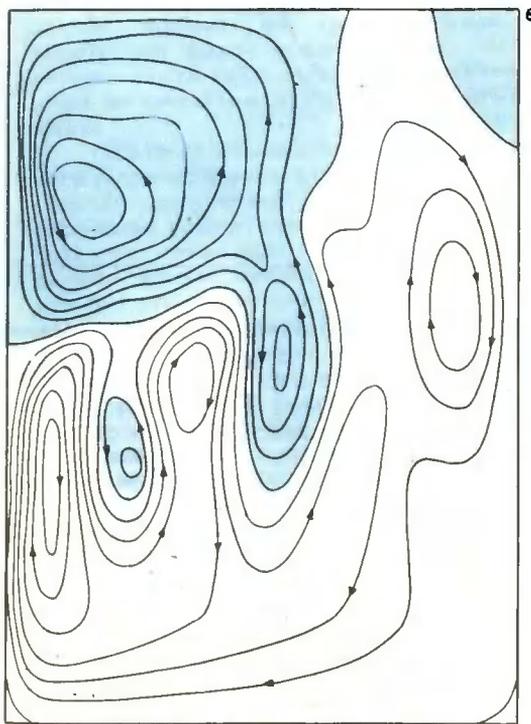
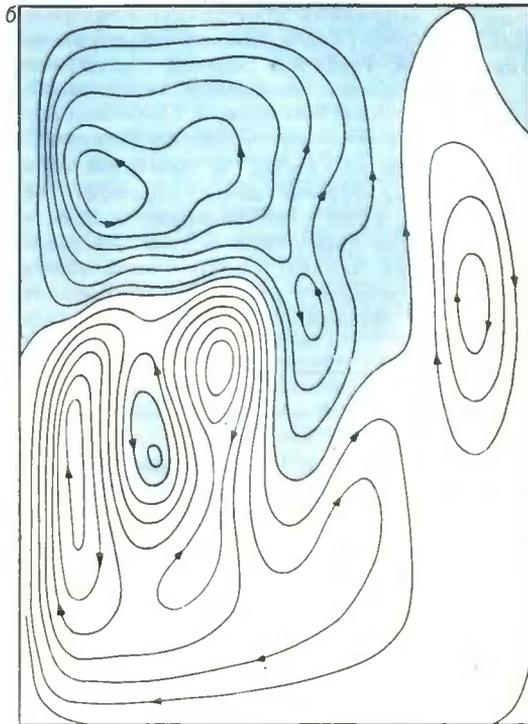
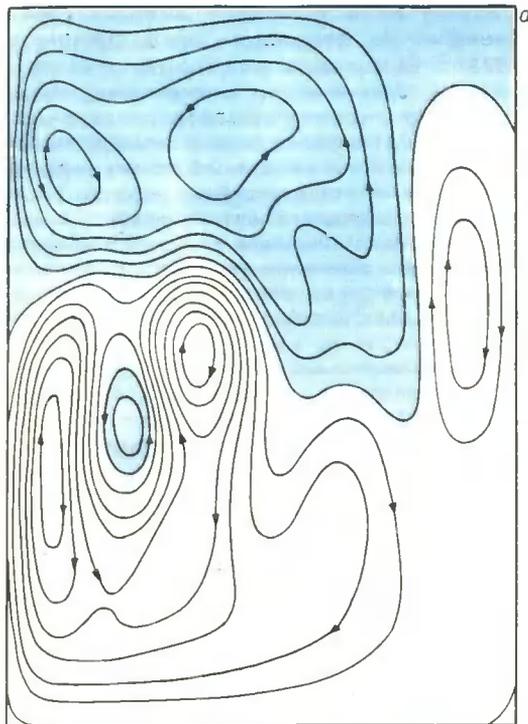
Средние по глубине течения



Направление течений



Области циклонического (против часовой стрелки) движения



ленными моделями атмосферы, с подробным описанием вертикальной структуры ее циркуляции, газового состава, орографии и т. д., но основы понимания механики общей циркуляции атмосферы были заложены именно в упомянутой работе Филлипса.

Сравнение погод в атмосфере и океане убедительно свидетельствует об одинаковой роли синоптических вихрей и волн в общей циркуляции в этих двух средах. Первая модель крупномасштабных океанских течений с учетом синоптических вихрей (так называемая вихререзающая

модель) была построена американскими учеными В. Холландом и Л. Лином в 1975 г.<sup>2</sup> Ее значение для теории океанских течений сравнимо со значением работы Филлипса в теории общей циркуляции атмосферы. И физически и методически эта модель похожа на атмосферную модель Филлипса — это двухслойная модель с детальным расчетом энергетического цикла. Различие заключается в том, что в модели атмосферы движение вызывается неравномерным нагревом снизу, а в модели океана — воздействием ветра на свободную по-

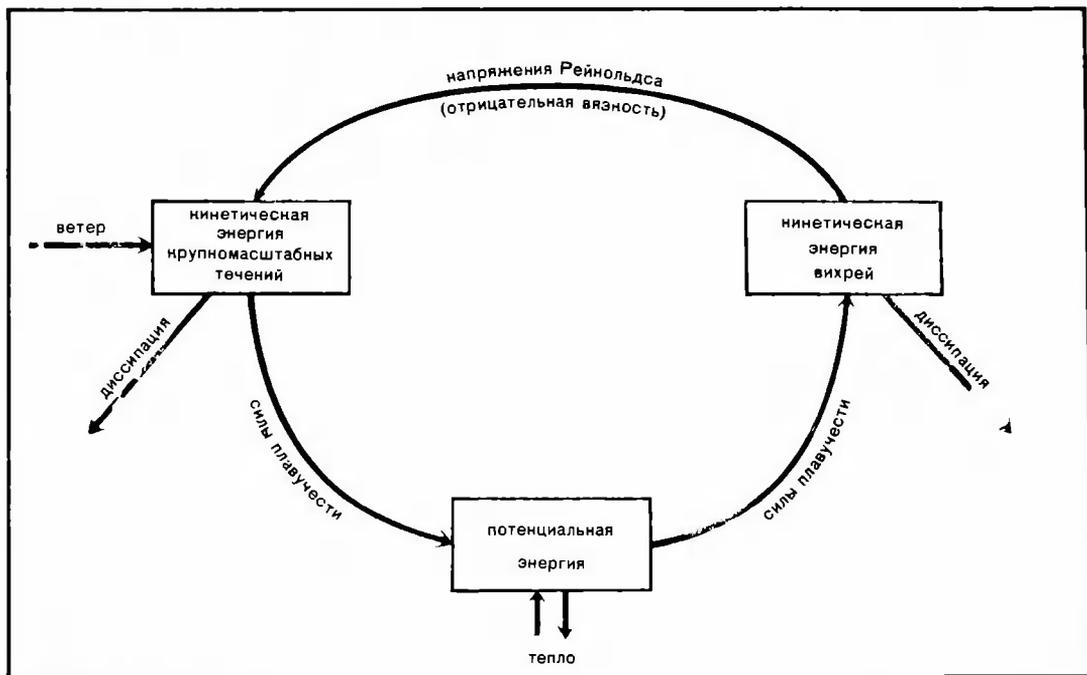


Схема трансформации энергии в системе крупномасштабных течений — синоптические вихри. Средняя по всему объему кинетическая энергия крупномасштабных течений растет вследствие воздействия ветра на поверхность океана и напряжений Рейнольдса [нелинейных взаимодействий между движениями разных масштабов] и убывает за счет мелкомасштабного турбулентного трения (диссипирует); средняя по объему кинетическая энергия вихрей растет в результате сил плавучести [процесс так называемой бароклинной неустойчивости крупномасштабных течений] и убывает в результате производимой вихрями работы напряжений Рейнольдса [эффект отрицательной вязкости]. Замыкает круговорот энергии в системе потенциальная энергия, изменяющаяся в результате работы сил плавучести, теплообмена с атмосферой через поверхность, перераспределения тепла в толще океана и конвективного перемешивания при возникновении гидростатической неустойчивости.

верхность. Хотя более сложные модели общей циркуляции океана были разработаны раньше (модель А. С. Саркисяна в СССР в 1966 г. и модель К. Брайена в США в 1967 г.), синоптические процессы (тогда еще мало изученные экспериментально) и энергетический цикл в них не учитывались.

Метод численного моделирования в геофизической гидродинамике обладает большими возможностями, в том числе удобством воспроизводимости численных экспериментов при помощи ЭВМ. Если модель достаточно полна с физической

<sup>2</sup> Holland W. R., Lin L. B. — J. Physic. Oceanogr., 1975, v. 5, № 4, p. 642.

точки зрения, непротиворечива (например, в ней выполняются общезначимые законы сохранения), экономична в расчетах, и после сравнения с имеющейся фактической информацией ее результаты вызывают доверие, то ее можно рассматривать как весьма ценный инструмент исследования. Образно говоря, такую модель можно сравнить с экспериментальной установкой, которая позволяет совершать большое число «экспедиций» или «зондирований» в гипотетическом «океане» или «атмосфере».

Однако при численном моделировании океанских процессов возникают две существенные трудности. Общая циркуляция океана, так же как и атмосферы, имеет глобальные масштабы, но скорости движения в океане на два-три порядка меньше, чем в воздушной среде. Следовательно, они определяют временной масштаб, прямо пропорциональный пространственному масштабу, отнесенному к характерной скорости течения, т. е. на два-три порядка больше, чем в атмосфере — десятки и сотни лет. С другой стороны, размеры синоптических вихрей в океане на порядок меньше, чем в атмосфере. Поэтому ячейки расчетных сеток в модели океанской циркуляции должны быть на порядок меньше, чем в атмосферных моделях, а интегрирование по времени требует в десятки раз большего времени счета на ЭВМ. Таким образом, глобальная циркуляция Мирового океана требует по крайней мере в тысячу раз более мощных ЭВМ, чтобы воспроизвести крупномасштабные течения с тем же качеством, что и в моделях атмосферы.

Поэтому возможностей для численного моделирования флуктуирующей глобальной циркуляции Мирового океана в настоящее время еще нет. Вероятно, они появятся лишь при усовершенствовании вычислительной техники. В связи с этим все три существующие на сегодня вихре-разрешающие модели (две из них разработаны в США, третья создана в нашем институте<sup>3</sup>) воспроизводят лишь весьма идеализированную ситуацию — циркуляцию в прямоугольном бассейне с ровным дном, через поверхность которого в воду поступает количество движения и происходит обмен теплом с атмосферой. Главным результатом этих численных экспериментов является получение в них, даже при постоянном напряжении трения ветра на

поверхности и неизменной температуре воздуха вблизи поверхности воды, лишь в среднем стационарной системы течений, в которой достигается динамическое равновесие крупномасштабных течений и синоптических вихрей.

Основной неудачей предыдущего (без учета синоптических процессов) численного моделирования была малая интенсивность, «вялость» рассчитываемой циркуляции океана. Главный индикатор качества результатов расчетов по моделям циркуляции — это интенсивность имитируемых в моделях западных струйных течений. От них, в частности, зависит суммарный поток тепла с юга на север в средних широтах, например, так называемое водяное отопление Европы Гольфстримом. Из-за сферичности Земли циркуляция океана действует так, что на большей части акватории, охваченной, например, субтропическим крупномасштабным антициклоном, происходит медленное меридиональное движение на юг, несущее холодные воды к экваториальной зоне. На север же теплые, нагретые воды переносятся в узком струйном течении вдоль западного берега. Суммарный поток воды через любой широтный разрез от берега до берега в среднем по времени равен нулю. Поскольку температура вод, движущихся на юг и на север, различна, итоговый перенос тепла на север существенно зависит от расхода воды в струйном течении. Даже для идеализированного прямоугольного бассейна вихре-разрешающие модели дают в полтора раза более мощное струйное течение, нежели расчеты, не учитывающие синоптических вихрей. Попытаемся объяснить, почему это получается.

## ЭНЕРГЕТИКА ОКЕАНСКИХ ТЕЧЕНИЙ

В среднем по всему объему источником образования вихрей является неустойчивость средних течений, в результате которой потенциальная энергия преобразуется в энергию крупномасштабных течений (эффект отрицательной вязкости), а частично диссипируется. Таким образом, интенсификация струйного течения в океане происходит так же, как в атмосфере, за счет синоптических вихрей. Как и в атмосфере, главную роль в генерации узких струйных потоков с запада на восток в средних широтах играют баротропизирующиеся вихри и волны Россби — Блиновой.

Весьма важным оказалось пространственное распределение вихревой активности. Во-первых, по нашим расчетам, оказа-

<sup>3</sup> Сеидов Д. Г. — Известия АН СССР, серия «Физика атмосферы и океана», 1980, т. 16, № 1, с. 73.

лось, что она имеет ярко выраженную меридиональную асимметрию и гораздо сильнее проявляется в зоне крупномасштабного субтропического антициклона, где запасы потенциальной энергии максимальны. Во-вторых, в нашей модели эффект отрицательной вязкости в основном приурочен к области отрыва струйных течений от западных берегов океанских бассейнов. Область максимального потока энергии от вихрей к струйному течению расположена справа от его стрежня, что объясняет имеющиеся наблюдения в районе наиболее изученного струйного течения — Гольфстрима. Все положения модели, относящиеся к поведению струи, применимы не только к Гольфстриму, но и к другим течениям, например к Куроиси в Тихом океане. Трансформация кинетической энергии вихрей в кинетическую энергию крупномасштабных течений (эффект отрицательной вязкости, когда вихри отдают энергию струе), равно как и обратная трансформация, связанная с генерацией вихрей, струйным течением, обусловлена взаимодействием движений с различными пространственно-временными масштабами (в данном случае взаимодействием синоптических вихрей и крупномасштабных потоков). Существующий в западной части Атлантики перенос вод на восток в виде мощных и относительно узких струй объясняется не только интенсификацией течений у западных берегов, о чем говорилось выше, но и синоптической активностью в этой зоне, приводящей в действие эффект отрицательной вязкости.

Таким образом, вихри эффективно управляют перераспределением энергии, аккумулируемой океаном, образуя петли обратных связей. Чем больше широтный и вертикальный температурные градиенты в океане, тем сильнее проявляется неустойчивость крупномасштабных течений, выражающаяся в преобразовании зональной потенциальной энергии в потенциальную и далее в кинетическую энергию вихрей. При усилении синоптической вихревой активности усиливается эффект отрицательной вязкости в зоне отрыва струйного течения от берега, что приводит к интенсификации струи и усилению образования вихрей во фронтальной зоне вниз по течению. Так образуется петля положительной обратной связи — вихри усиливают струю, а струя генерирует вихри. Мелкомасштабная турбулентность стабилизирует этот процесс путем диссипации кинетической энергии как крупномасштабных течений, так и синоптических вихрей и возрастает с их ростом,

т. е. проявляется как отрицательная обратная связь в системе крупномасштабных течений — синоптические вихри.

Из этого краткого обзора результатов моделирования погоды и синоптической изменчивости климата океана отнюдь не следует, что решены все или даже большинство проблем в этом направлении океанологии. На многие вопросы мы еще не можем дать уверенных ответов. Например, мы недостаточно хорошо представляем суммарную роль вихрей в переносе тепла в океане. За рамками численного моделирования океанских синоптических процессов пока остаются географические особенности конкретных океанских бассейнов. Неизвестна связь синоптической и сезонной изменчивости океана. Попытки ответить на эти и многие другие вопросы, связанные с изучением погоды и климата океана, по-видимому, составят предмет дальнейших исследований.

Однако уже сегодня можно сказать, что теоретические построения и численное моделирование погоды океана привели к пересмотру взглядов на физику крупномасштабных океанских течений, сложившихся до 70-х годов нашего столетия, и что формируется новая теория общей циркуляции океана.

#### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Каменкович В. М., Кошляков М. Н., Монин А. С. СИНОПТИЧЕСКИЕ ВИХРИ В ОКЕАНЕ. Л.: Гидрометеиздат, 1982.

Лоренц Э. Н. ПРИРОДА И ТЕОРИЯ ОБЩЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ. Л.: Гидрометеиздат, 1970.

Монин А. С. ПРОГНОЗ ПОГОДЫ КАК ЗАДАЧА ФИЗИКИ. М.: Наука, 1969.

Монин А. С. ИСТОРИЯ КЛИМАТА. Л.: Гидрометеиздат, 1979.

Монин А. С., Каменкович В. М., Корт В. Г. ИЗМЕНЧИВОСТЬ МИРОВОГО ОКЕАНА. Л.: Гидрометеиздат, 1974.

ОКЕАНОЛОГИЯ. ФИЗИКА ОКЕАНА. М.: Наука, 1978.

Старр В. ФИЗИКА ЯВЛЕНИЙ С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ВЯЗКОСТЬЮ. М.: Мир, 1971.

## Детство и юность нейтринной физики: некоторые воспоминания

Б. М. Понтекорво



Бруно Максимович Понтекорво, академик, начальник отдела Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований (Дубна). Научные работы посвящены ядерной физике, физике высоких энергий, физике слабых взаимодействий, физике нейтрино, астрофизике. Лауреат Государственной премии СССР (1954) и Ленинской премии (1963).

### ВВЕДЕНИЕ

То, о чем я хочу рассказать, не есть полное и последовательное описание развития нейтринной физики. Это лишь несколько эпизодов из истории нейтрино. Я буду говорить о событиях, которые оказали глубокое влияние на меня лично. Некоторые из них имели решающее значение, другие были не так существенны, но хорошо мне известны и, может быть, в чем-то любопытны. Одним словом, мой рассказ в высшей степени субъективен. Все эти эпизоды я «видел» собственными глазами, либо глазами физиков, которые были мне близки. Я писал, роясь прежде всего в своей памяти и только потом (и то крайне редко) — в литературе, для проверок и уточнений.

Не думайте, что такая «стратегия» вызвана только моей ленью. Разумеется, доля истины имеется и в таком мнении, ибо латинская поговорка гласит: *excusatio pro re facta, accusatio manifesta* (извинения излишни, обвинение очевидно). Однако вся правда состоит в следующем: старым ученым (очевидно, я один из них) очень бы хотелось поведать людям о том, что (по их

мнению) они совершили в жизни. Обычно стесняются действовать открыто в соответствии с этим желанием, но стратегия, которую я избрал, дает хорошую возможность его удовлетворить, оставаясь при этом в рамках приличий.

Я прошу прощения у многих физиков, в том числе и у некоторых моих друзей, за то, что не уделил им того внимания, на которое они имели бы право рассчитывать в объективном изложении развития нейтринной физики.

Подчеркиваю, что по ряду причин я не буду касаться событий, которые имели место позже конца 50-х годов.

Начну с простого перечисления событий, прямо связанных с развитием нейтринной физики. Пусть даже сухое, субъективное и неполное, оно даст возможность читателю быстрее войти в атмосферу тех лет, о которых пойдет речь. Нейтринная физика прошла периоды, которым не обязательно соответствует строгая временная последовательность и которые могут быть установлены более или менее произвольно, что и сделано ниже.

### ПЕРВЫЙ ПЕРИОД (1896—1930): ЗАРОЖДЕНИЕ НЕЙТРИННОЙ ФИЗИКИ

Он включает в себя, если говорить об экспериментальных работах:

В основу публикуемой статьи положен доклад, подготовленный для Международного коллоквиума по истории физики элементарных частиц (Париж, июль 1982). — Прим. ред.

открытие радиоактивности (Беккерель, 1896);  
 открытие  $\beta$ -лучей (Резерфорд, 1899);  
 открытие непрерывности  $\beta$ -спектров (Чедвик, 1914);  
 измерение тепловыделения, производимого  $\beta$ -лучами (Эллис и Вустер, 1927).

Если же рассматривать теоретические работы, то сюда должны быть включены:

квантовая теория излучения (Дирак, 1927);  
 релятивистское уравнение для частиц со спином  $1/2$  (Дирак, 1928).

Что касается новых экспериментальных методов, то здесь следует вспомнить об изобретении:

счетчиков, способных регистрировать отдельные заряженные частицы (Гейгер, Резерфорд и Мюллер, 1908);  
 первой трековой камеры (Вильсон, 1912);  
 ядерных фотоэмульсий (Мысовский, 1925).  
 Этого периода я не буду касаться.

## ВТОРОЙ ПЕРИОД (1930 — начало 1950-х): ДЕТСТВО НЕЙТРИННОЙ ФИЗИКИ

Среди теоретических достижений он включает:

изобретение нейтрино (Паули, 1930);  
 теорию атомного ядра, составленного из протонов и нейтронов (Иваненко; Гейзенберг; Майорана, 1932);  
 теорию  $\beta$ -распада (Ферми; Перрен, 1933);  
 мезонную теорию ядерных сил (Юкава, 1935);  
 первое обсуждение двойного  $\beta$ -распада (Гепперт-Майер, 1935);  
 новые правила отбора в  $\beta$ -распаде (Гамов и Теллер, 1936);  
 «истинно нейтральное» нейтрино (Майорана, 1937);  
 первое рассмотрение безнейтринного двойного  $\beta$ -распада (Фарри, 1939);  
 рассмотрение вопроса об испускании нейтрино при термоядерных реакциях на Солнце и других звездах (Бете, 1939);  
 исследование «урка-процесса» — первое обсуждение роли нейтрино в эволюции звезд (Гамов и Шенберг, 1941);  
 теорию «Большого Взрыва» (Гамов, 1946);  
 введение лептонного заряда (Маркс; Зельдович; Конопинский и Махмуд, 1953).

Что касается экспериментов, то ко второму периоду следует отнести:

открытие позитрона (Андерсон, 1932);  
 открытие нейтрона (Чедвик, 1932);  
 открытие искусственной радиоактивности (супруги Жолио-Кюри, 1934);  
 открытие испускания позитронов при  $\beta$ -распаде (супруги Жолио-Кюри, 1934);  
 первые эксперименты по поиску отдачи ядер при  $\beta$ -распаде (Лейпунский, 1935);  
 наблюдение захвата ядром орбитального электрона (Альварес, 1937);

открытие мюона (Андерсон и Неддермейер, 1938);  
 обнаружение радиоактивности нейтрона (Снелл; Робсон, 1948);  
 первое определение верхнего предела массы (анти)нейтрино из данных по  $\beta$ -распаду  $^3\text{H}$  (Курран и др.; Ханна и Понтекорво, 1949);  
 обнаружение отсутствия взаимодействия антинейтрино с ядром  $^{37}\text{Cl}$  в реакции  $\bar{\nu} + ^{37}\text{Cl} \rightarrow e^- + ^{37}\text{Ar}$  (Дэвис, 1956);

наконец, последнее по списку, но не по важности —

регистрация свободных антинейтрино из ядерного реактора с помощью обратного  $\beta$ -процесса (Райнес и Коуэн, 1956).

Среди новых экспериментальных методов следует назвать изобретение:

диффузионной камеры (Лангсдорф, 1939);  
 ядерного реактора (Ферми, 1942);  
 принципа автофазировки в ускорителях высоких энергий (Векслер, Макмиллан, 1944);  
 радиохимических методов детектирования нейтрино, включая хлор-аргоновый метод (Понтекорво, 1946);  
 сцинтилляционных счетчиков (Кальман, 1947);  
 черенковских счетчиков (Джелли, 1950);  
 пузырьковой камеры (Глэзер, 1952).

Некоторые эпизоды этого периода занимают центральное место в моем рассказе.

## ТРЕТИЙ ПЕРИОД (1941—1959): ЮНОСТЬ НЕЙТРИННОЙ ФИЗИКИ

Он простирается от наблюдений и исследований нейтринных процессов иных, нежели  $\beta$ -распад, и от возникновения предположения о слабых взаимодействиях до открытия CP-нарушения, теории (V—A)-взаимодействий и рождения физики нейтрино высоких энергий. Невозможно упомянуть здесь все важнейшие работы, и мы рассмотрим только те, которые непосредственно связаны с пониманием свойств нейтрино.

Третий период включает множество экспериментов с космическими лучами: прямое доказательство распада мюона и измерение его среднего времени жизни (Разетти, 1941);  
 открытие того факта, что мюон не является адроном (Конверси, Панчини, Пиччиони, 1947);  
 открытие пиона и  $\pi \rightarrow \mu$ -распада (Латтес, Оккиалини и Пауэлл, 1947);  
 обнаружение, что распада  $\mu \rightarrow e + \gamma$  не существует (Хинкс и Понтекорво; Сард и Альтхаус; Пиччиони, 1948);  
 наблюдение испускания трех частиц при распаде мюона, одна из которых, заряженная, является электроном (Хинкс и

Понтекорво; Штейнбергер; Андерсон и др.; Жданов, 1949).

В этот же период стали получать важные экспериментальные результаты на ускорителях. К ним относятся:

наблюдение искусственных пионов на фазотроне в Беркли (Гарднер и Латтес, 1948);

наблюдение  $\tau$  и  $\Theta$  типов распада каона (Уайтхед и др.; Баркас и др.; Далитц и др.; Фитч и др.; 1956);

открытие  $P$  и  $S$  нарушения при распаде  $^{60}\text{Co}$  (Ву и др., 1957) и при распаде пиона и мюона (Гарвин и др., 1957);

измерение угловой корреляции между электроном и нейтрино в  $\beta$ -распаде  $^{35}\text{Ag}$  и  $^6\text{He}$ , наконец согласующейся с предсказаниями теории  $(V-A)$ -взаимодействия (Хермансфельт и др., 1957);

наблюдение процесса  $\pi \rightarrow e + \nu$  с вероятностью, также согласующейся с предсказаниями теории  $(V-A)$ -взаимодействия (Фаццини и др.; Шварц, Штейнбергер и др., 1958);

обнаружение левой спиральности нейтрино (Гольдхабер, 1958).

Среди новых экспериментальных методов третий период включает введение принципа «селективного импульсного питания» (Конверси и Гозини; Тяпкин, 1955), на котором основана работа таких трековых детекторов, как искровые камеры (Фукуни, Миямото, 1959); стримерные камеры (Чиковани; Долгошин, 1964), а также предложение, открывшее новое направление в физике слабых взаимодействий:

использование пучков нейтрино высоких энергий, образующихся в результате  $\pi \rightarrow \mu$  и других распадов (Понтекорво; Марков; Шварц, 1959).

Что касается теории, то в рассматриваемый период произошли такие события, как: формирование самого понятия слабых процессов и представления о глубокой аналогии между электроном и мюоном (Понтекорво, 1947; Клейн; Пуппи, 1948); предсказание «генетической» связи пиона и мюона (Маршак и Бете, 1947); введение параметра  $\rho$  для описания распада мюона (Мишель, 1950); обсуждение возможного нарушения четности в слабых взаимодействиях (Ли и Янг, 1956); гипотеза  $CP$ -инвариантности слабых взаимодействий (Ландау; Ли и Янг, 1957); представление о продольном нейтрино (Ландау; Ли и Янг; Салам; Сакураи, 1957); создание теории универсального слабого  $(V-A)$ -взаимодействия (Маршак и Сударшан; Гелл-Манн и Фейнман, 1958); гипотеза нейтринных осцилляций (Понтекорво, 1957); предположение, что  $^8\text{B}$  является источником солнечных нейтрино сравнительно высокой энергии (Фаулер, 1958);

«киевская симметрия», или «докварковая» лептон-адронная симметрия (Гамба и др., 1959);

испускание нейтрино горячими звездами за счет фермиевского взаимодействия (Понтекорво, 1959).

Заметим, что в этот период среднее число  $N$  авторов в типичных экспериментальных исследованиях все еще меньше 5. В следующем, четвертом периоде, который можно назвать зрелостью нейтринной физики,  $N > 10$ ! Целый ряд эпизодов третьего периода также занимает в моем рассказе центральное место.

#### ЧЕТВЕРТЫЙ ПЕРИОД (1960—...): ЗРЕЛОСТЬ НЕЙТРИННОЙ ФИЗИКИ

Он простирается от открытия двух типов нейтрино до открытия нейтральных токов,  $\tau$ -лептонов, слабых распадов очарованных частиц, до теории электрослабого взаимодействия и... Теории Великого Объединения.

Я не буду касаться этого периода, поскольку он начался в 60-е годы. Заметим, что «период зрелости» отличается от рассматриваемых ранее периодов дополнительным обстоятельством: полученный результат или планируемый эксперимент и т. п. связаны теперь, как правило, больше с названием установки (например, ЦЕРН-Гаргамель, Фермилаб-HPWF, Серпухов-СКАТ), нежели с именами авторов.

Сравнение разных периодов демонстрирует поразительно быстрый рост нейтринной физики, которая вместе со своими обширными ответвлениями в область астрофизики и космологии стала сегодня, безусловно, количественной наукой, здоровой и сильной, и тем не менее оставляющей еще довольно много места для качественных сюрпризов.

#### ПАУЛИ: ОДИН ИЗ ГИГАНТОВ

Трудно найти ситуацию, где бы слово «интуиция» так соответствовало характеру научного достижения, как в случае предсказания нейтрино Вольфгангом Паули.

**Во-первых**, 50 лет назад были известны только две «элементарные» частицы — электрон и протон, и даже идея, что для лучшего понимания природы необходимо ввести новую частицу, была сама по себе революционной. Как это отличается от положения в наши дни, когда по малейшему поводу масса людей готова изобрести любое количество частиц!

**Во-вторых**, предлагавшаяся частица, нейтрино, должна была обладать совер-



В. Паули (1900—1958).

шенно экзотическими свойствами, в особенности — огромной проникающей способностью. Правда, Паули вначале полностью не осознавал этого неизбежного следствия своей идеи и скромно допускал, что нейтрино может иметь проникающую способность, примерно равную или в десять раз большую, чем  $\gamma$ -лучи. Между прочим, довод (основанный на соображениях размерности и термодинамики) в пользу того, что нейтрино с энергией порядка 1 МэВ или длиной волны  $\lambda \sim 10^{-11}$  см должно иметь астрономически большую величину среднего свободного пробега (равную, скажем, толщине слоя воды, в миллиард раз превышающей расстояние от Земли до Солнца) был впервые высказан Г. Бете и Р. Пайерлсом<sup>1</sup>. Они рассматривали два обратных друг другу процесса (я использую современные обозначения):  $Z \rightarrow (Z+1) + e^- + \bar{\nu}_e$  (это  $\beta$ -процесс, происходящий с характерным временем  $T$ ) и обратную реакцию  $\bar{\nu}_e + (Z+1) \rightarrow Z + e^+$ , характеризующуюся при соответствующей энергии нейтрино сечением:

$$\sigma < \lambda^2 \cdot \frac{1}{T} \cdot \frac{\lambda}{c}.$$

Этот довод, который сегодня кажется очевидным (почти все хорошие доводы таковы а posteriori), произвел на меня глубокое впечатление. Я не забыл его и много лет спустя, когда предложил, как провести эксперименты со свободными нейтрино с помощью реакторов<sup>2</sup>.

**В-третьих**, сначала казалось, что из-за своей фантастической проникающей способности нейтрино не может быть обнаружено в свободном состоянии. О его существовании приходилось судить лишь на основании законов сохранения энергии и импульса, измеряя отдачу ядер при  $\beta$ -распаде с помощью метода, который сейчас постоянно используется при поисках нейтральных частиц (так называемый метод «недостающей массы»). Эксперименты такого рода были предложены Паули, и первый из них был выполнен в Кембридже Лейпунским<sup>3</sup>. Здесь я хотел бы подчеркнуть, что 50 лет назад был известен только один процесс с участием нейтрино —  $\beta$ -распад тяжелых ядер, в результате которого в конечном состоянии появляются 3 частицы. Чрезвычайно важные эксперименты Эллиса и др. показали, что средняя энергия  $\beta$ -лучей (измеренная с помощью калориметра) равна средней энергии  $\beta$ -спектра, измеренного магнитным спектрометром. Это важное указание (вместе с фактом существования максимальной энергии  $\beta$ -лучей, разумеется) Паули не оставил без внимания. Все остальные процессы, в которых, как мы теперь знаем, принимают участие нейтрино, в то время не были известны. Среди них есть несколько двухчастичных распадов заряженных частиц, останавливающихся в трековой камере ( $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$ ;  $\mu^- \rightarrow {}^3\text{He} + \bar{\nu}_\mu + \dots$ ). Такие распады оставляют в камере замечательные автографы, поскольку испущенная при распаде частица имеет всегда один и тот же импульс, конечно равный импульсу невидимого нейтрино.

Сегодня примеры таких процессов хорошо известны. Если бы они были открыты во времена, предшествовавшие гипотезе Паули, для «изобретения» нейтрино не потребовался бы его гений. Однако, я хотел бы здесь напомнить, что в то время Бор допускал, что непрерывный  $\beta$ -спектр может возникнуть из-за несохра-

<sup>1</sup> Bethe H., Peierls R. — Nature, 1934, v. 133, p. 689. Хочу отметить, что я не буду цитировать работ, опубликованных в 60-е годы и позже, за исключением тех, которые касаются истории физики.

<sup>2</sup> Pontecorvo B. — Nat. Res. Council Canada, 1946, Rep. PD 205; Idem. — Helv. Phys. Acta, Suppl., 1950, v. 3, p. 97.

<sup>3</sup> Leipunsky A. — Proc. Camb. Phil. Soc., 1936, v. 32, p. 301.

нения энергии в индивидуальных процессах, так что, если рассуждать строго, для решения дилеммы: нейтрино или несохранение энергии — нельзя, вообще говоря, пользоваться законами сохранения.

Еще несколько слов по поводу истории изобретения Паули, о которой он написал сам через несколько десятков лет после того, как выдвинул свою знаменитую гипотезу. (Кстати сказать, она никогда не была опубликована в научной периодике.) Может быть, не все знают, что впервые идея о существовании нейтрино была высказана в письме Паули<sup>4</sup> группе специалистов по радиоактивности, которые должны были собраться на встречу в Тюбингене. Письмо начиналось такими словами: «Дорогие радиоактивные леди и джентельмены...» На этой встрече Паули не присутствовал, поскольку он ожидал гораздо большего от бала, на котором он хотел быть в Цюрихе вечером 6 декабря 1930 г. Но в этом письме были не только шутки.

В нем содержались две идеи, которые мог иметь только человек с гениальной интуицией. Эти идеи я сформулирую, пользуясь как современной терминологией, так и терминологией самого Паули.

1. В ядре должны существовать электрически нейтральные частицы, нейтроны (Паули тоже называл их нейтронами), имеющие спин  $1/2$ .

2. При  $\beta$ -распаде вместе с электроном должна испускаться нейтральная частица, нейтрино (Паули и ее называет нейтроном), так что полная энергия электрона, нейтрино и ядра отдачи имеет определенное значение, как это и должно быть в соответствии с законами сохранения.

Таким образом Паули «изобрел» одновременно две частицы, и обе они были очень нужны (имеется в виду, помимо прочего<sup>5</sup>, так называемая азотная катастрофа, т. е. полученное в классических спектро-

скопических работах Разетти доказательство того, что ядра  $^{14}\text{N}$  подчиняются статистике Бозе, так что вряд ли могут состоять только из протонов и электронов). Некоторое время Паули думал, что он изобрел только одну частицу, а не две, поскольку ошибочно считал их идентичными. Однако уже вскоре он изменил свою точку зрения, а именно, в своей первой официальной публикации<sup>6</sup> о нейтрино (так назвал эту частицу Ферми) на Сольвеевском конгрессе 1933 г.

Следующий колоссальный шаг был сделан Ферми.

## ФЕРМИ: ЕЩЕ ОДИН ГИГАНТ

Ферми познакомился с гипотезой Паули в Риме на Международной конференции по ядерной физике (1931), на которой обсуждалась проблема  $\beta$ -распада. Как раз здесь Бор выступал в пользу несохранения энергии. Частица, предложенная Паули, произвела очень большое впечатление на Ферми; он вскоре начал называть ее «нейтрино». Очевидно Ферми уже глубоко размышлял над проблемой нейтрино во время Сольвеевского конгресса 1933 г.; его знаменитая статья «Предварительная теория  $\beta$ -распада»<sup>7</sup> появилась всего лишь через два месяца после окончания этого конгресса. Это — количественная теория, которая имела огромное влияние на развитие физики. Несомненно, идея о существовании нейтрино оставалась бы без этого вклада Ферми лишь смутным предположением. Поразительно, но эта теория со сравнительно небольшими, хотя и крайне важными и многочисленными добавлениями, просуществовала почти без изменений вплоть до объединенной теории электрослабых взаимодействий Глэшоу — Вайнберга — Салама. Я совершенно уверен, что, будь Ферми жив, большинство из этих дополнений он сделал бы сам под давлением новых экспериментальных фактов; о некоторых из них я буду говорить дальше.

Теперь я хотел бы рассказать о нескольких курьезах, связанных с появлением этой теории, свидетелем которых был я сам, поскольку в то время работал в Риме.

1. Журнал «Nature» отклонил статью Ферми, так как она выглядела слишком

<sup>4</sup> Паули В. Письмо от 4 декабря 1930 г. физикам, собравшимся на встречу в Тюбингене. Среди них были Г. Гейгер и Л. Мейтнер. Письмо было сохранено Л. Мейтнер, и его содержание обсуждалось с 1930 г. Прочсть письмо можно, например, в статье: Brown L.—Phys. Today, 1978, Sept., p. 23.

<sup>5</sup> Детали теоретических представлений (Резерфорд, Паули и особенно Майорана) о нейтроне до его экспериментального открытия Чедвиком крайне интересны, но я не имею возможности обсуждать их здесь. Я упомяну только, что Майорана, после того как он прочел знаменитую статью супругов Жолио-Кюри о выбивании протонов из вещества излучением полоний-бериллиевого источника, заметил, что это явное доказательство в пользу «нейтрального протона» (т. е. нейтрона).

<sup>6</sup> Pauli W. Septième Conseil de Physique Solvay, 1933. P., 1934, p. 324.

<sup>7</sup> Fermi E.—Ricerca Scientifica 2, 1933, № 12; Idem.—Z. Phys., 1934, B. 88, S. 161.



Э. Ферми (1901—1954).

абстрактной, для того чтобы заинтересовать читателей. Я уверен, что редактор всю свою жизнь раскаивался в этом.

2. Второй курьез связан с трудностями, с которыми столкнулся Ферми при создании самой теории. Это были трудности не математического, а физического характера. Необходимую математику, вторичное квантование, он усвоил быстро. Но самым сложным для него было осознание того факта, что при превращении нейтрона в протон происходит именно рождение электрона и нейтрино. Конечно, сегодня это знает каждый студент: частицы рождаются и уничтожаются. Взаимодействие между элементарными частицами объясняется обменом другими элементарными частицами. Это — квантовая теория поля, которая является неизбежным следствием квантовой теории и теории относительности. Все это и вызывало затруднения у Ферми. Паули, несмотря на свою пионерскую работу по квантовой электродинамике, не сформулировал четко такую точку зрения в случае  $\beta$ -распада. Читая знаменитую статью Ферми по  $\beta$ -распаду, видишь, как он использовал аналогию с дираковской квантовой теорией излучения (ведь фотоны тоже рождаются и уничтожаются)

и как по аналогии выбрал V-вариант  $\beta$ -распада.

Я все еще помню его слова: когда возбужденный атом натрия испускает линию  $5890 \text{ \AA}$ , фотон не сидит в атоме — он рождается; точно так же, когда нейтрон переходит в протон, рождаются электрон и нейтрино. К такому же выводу о рождении электронов в  $\beta$ -распаде пришел ранее Д. Д. Иваненко<sup>8</sup> в работе, в которой впервые было недвусмысленно сделано утверждение, что нейтрон — элементарная частица, а не связанная система «протон — электрон».

Здесь я должен сказать, что примерно в то же время и независимо от Ферми аналогичные концептуальные трудности преодолел и Перрен<sup>9</sup>. По поводу массы нейтрино он также пришел к выводам, аналогичным выводам Ферми. Они выглядят очень современно, в том смысле, что оба — и Перрен и Ферми — поставили вопрос о массе нейтрино (первостепенный вопрос и сегодня) в абсолютно недогматичной форме и указали, что масса нейтрино (если она конечна) может быть определена путем измерения спектра  $\beta$ -распада вблизи его конца. Для наиболее благоприятного случая ( $\beta$ -распад ядра трития) начало таким экспериментам было положено в 40-е годы<sup>10,11</sup>. Результаты измерений подобного рода ныне, в 80-е годы, с большим волнением ожидает все мировое сообщество физиков после в высшей степени интересной статьи В. А. Любимова, Е. Ф. Третьякова и др., которые утверждают, что они получили конечную величину массы нейтрино. Но вернемся к теории  $\beta$ -распада.

В отличие от электромагнитного взаимодействия (посредством обмена фотоном), Ферми предположил, что происходит контактное взаимодействие двух токов — тока тяжелых частиц (п, р) и тока легких частиц (е,  $\nu$ ):

$$k(\bar{\Psi}_p \gamma_\mu \Psi_n)(\bar{\Psi}_e \gamma_\mu \Psi_\nu) \rightarrow \sum_{\vec{p}} \frac{e^{-i\vec{p}\cdot\vec{x}}}{V}$$

где  $k$  — константа порядка  $10^{-49}$  эрг  $\cdot$  см<sup>3</sup> (сегодня мы все знаем, что  $k = G/\sqrt{2}$ , где  $G = 10^{-5}/M_p^2$  называется постоянной Ферми),  $\hbar = c = 1$ ,  $\bar{\Psi}_p$ ,  $\Psi_n$  — операторы рождения протона и уничтожения нейтрона и т. д. Ферми предположил, что слабые токи, как

<sup>8</sup> Iwanenko D.— C. R. Acad. Sci. Paris, 1932, v. 195, p. 439.

<sup>9</sup> Perrin F.— C. R. Acad. Sci. Paris, 1933, v. 197, p. 1625.

<sup>10</sup> Hanna G., Pontecorvo B.— Phys. Rev., 1949, v. 75, p. 983.

<sup>11</sup> Curran S. et al.— Phil. Mag., 1949, v. 40, p. 53.

мы их теперь называем, являются 4-векторами, как в электродинамике. Вначале Ферми полагал, что нуклонный слабый ток  $\overline{\Psi}_p \gamma_\mu \Psi_n$  аналогичен электромагнитному току  $\overline{\Psi}_p \gamma_\mu \Psi_p$ , а лептонный слабый ток  $\overline{\Psi}_e \gamma_\mu \Psi_\nu$  — электромагнитному полю. Однако в его формулировке токи «тяжелых частиц» (как их называл Ферми) и «легких частиц» фактически идентичны.

Таким образом, Ферми возвел свое столь совершенное строение лишь на основе нескольких экспериментальных результатов по  $\beta$ -распаду тяжелых ядер, в частности RaE, и аналогии с дираковской теорией излучения.

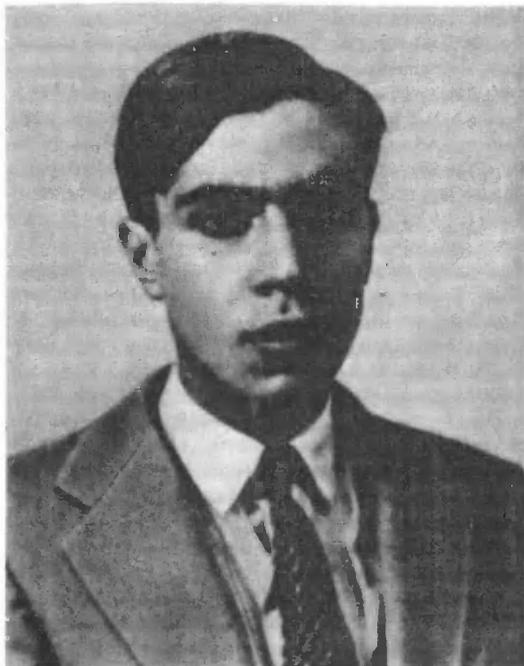
Я хотел бы подчеркнуть здесь, что наши знания с тех пор возросли в огромной степени; однако все (или почти все) новые факты удивительным образом укладываются в картину, нарисованную Ферми.

### МАЙОРАНА

В 1937 г. Майорана поставил наиболее важную проблему в нейтринной физике и вообще в физике элементарных частиц: проблему об истинной нейтральности электрически нейтральных фермионов. Речь идет о майорановском нейтрино (и нейтроне!).

Я чувствую, что тут уместны несколько вводных слов о третьем гиганте — Этторе Майоране, личность которого может вызывать огромный интерес не только у физиков, но и у писателей.

Когда в 1931 г. студентом третьего курса я пришел в физический институт Королевского университета в Риме, Майорана, которому в то время было 25 лет, был уже хорошо известен узкому кругу итальянских физиков и зарубежных ученых, которые работали некоторое время в Риме под руководством Ферми. Слава его была, прежде всего, отражением глубокого уважения и восхищения со стороны Ферми. Я точно помню слова Ферми: «Если физический вопрос поставлен, никто в мире не способен ответить на него лучше и быстрее, чем Майорана». Согласно шуточному лексикону, использовавшемуся в римской лаборатории, физики, разыгрывая из себя членов религиозного ордена, дали непогрешимому Ферми прозвище Папы, а устрашающему Майоране — Великого Инквизитора. На семинарах он обычно молчал, но время от времени — и всегда к месту — вставлял саркастические и парадоксальные замечания. Майорана был постоянно недоволен собой (и не только собой!). Он был пессимистом, но с очень острым чувством



Э. Майорана (1906—1938).

юмора. Трудно представить себе людей со столь различными характерами, как Ферми и Майорана. В то время как Ферми был очень простым человеком (с небольшой оговоркой: он был гением!) и считал обычный здравый смысл весьма ценным человеческим качеством (которым он, безусловно, был наделен в высшей степени), Майорана руководствовался в жизни очень сложными и абсолютно нетривиальными правилами. Начиная с 1934 г. он все реже и реже стал встречаться с другими физиками и посещать лабораторию. В 1938 г. он исчез в буквальном смысле этого слова. Вероятно, он покончил с собой, но абсолютной уверенности в этом нет. Он был довольно богат, и я не могу отделаться от мысли, что его жизнь могла бы не окончиться так трагически, если бы ему пришлось зарабатывать себе на жизнь. Таким образом, научная деятельность Майораны продолжалась менее десяти лет (1928—1937). По этой причине, а также потому, что он не любил публиковать результаты своих исследований, вклад Майораны в науку гораздо меньше, чем он мог бы быть. Например, публикации знаменитой статьи, относящейся к нейтринной физике способствовал просто счастливый случай. В 1937 г. Майорана решил при-

нять участие в конкурсе на университетскую кафедру. Статью, о которой идет речь<sup>12</sup>, он написал просто для того, чтобы повысить свои шансы на получение этой кафедры! Не будь этого случая, она, возможно, никогда бы и не появилась в печати.

Между прочим, Майорана был близким другом Э. Амальди, которому мы обязаны публикацией сборника статей Майораны, чрезвычайно интересной книги<sup>13</sup> о его жизни и работе. Теперь я вернусь к физике.

В конце 50-х и в 60-е годы часто высказывалось мнение, что нейтрино à la Майорана — объект, хотя и красивый и интересный, но в природе не реализующийся. С таким мнением сегодня согласиться, безусловно, нельзя. Наоборот, вопрос, поставленный Майораной, становится все более и более важным, и теперь это, по сути, центральная проблема нейтринной физики.

Статья 1937 г. в «Nuovo Cimento» — последняя оригинальная работа, написанная Майораной. Я хочу рассмотреть только главные физические и качественные аспекты этой статьи, которая опередила свое время примерно на сорок лет, и не буду касаться очень важных формальных ее аспектов. Может быть, самое лучшее — это перевести на русский язык аннотацию, введение и несколько основных фраз из статьи, которая, насколько мне известно, была напечатана только по-итальянски.

#### СИММЕТРИЧНАЯ ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОНА И ПОЗИТРОНА

Аннотация. Показана возможность представления квантовой теории электрона и позитрона в полностью симметричной форме с помощью нового процесса квантования. Это изменяет смысл уравнения Дирака таким образом, что нет больше причин ни говорить о состояниях с отрицательной энергией, ни предполагать при описании новых частиц (в особенности нейтральных) существование «античастиц», соответствующих «дыркам» с отрицательной энергией.

Интерпретация так называемых состояний с отрицательной энергией, предложенная Дираком (Dirac P. A.— Proc. Camb. Phil. Soc. 1924, v. 30, p. 150. См. также Heisenberg W.— Z. Physik, 1934, В. 90, S. 209), как хорошо известно, приводит к описанию электронов и позитронов, которых по существу симметрично. Такая симметрия целиком обусловлена тем обстоятельством, что указанная теория дает результаты, действительно симметричные до тех пор,

пока можно избежать трудностей, связанных со сходимостью. Однако искусственные методы, которые были предложены для того, чтобы придать теории симметричную форму, соответствующую ее содержанию, не совсем удовлетворительны, либо потому что исходная формулировка всегда несимметрична, либо потому что симметризация вводится позднее, причем методами, которых следовало бы избегать (такими как сокращение бесконечных констант). Поэтому мы попытались пойти новым путем, который более прямо приводит к требуемой цели.

Когда речь идет об электронах и позитронах, мы должны ожидать лишь формального упрощения теории; однако, по нашему мнению, важно (с точки зрения распространения теории на другие случаи), что исчезает само понятие состояний с отрицательной энергией. На самом деле мы увидим, что вполне возможно совершенно естественным образом построить теорию нейтральных частиц без отрицательных состояний.

Из первого параграфа я хотел бы процитировать следующие слова:

«...он (т. е. вновь предлагаемый метод квантования.— Б. П.) особенно важен для фермиевских полей, в то время как соображения простоты в случае электромагнитного поля позволяют ничего не добавлять к старым методам. В данном случае мы не будем заниматься систематическим изучением логических возможностей, открывающихся с нашей новой точки зрения, а ограничимся описанием процесса квантования, который, насколько можно судить, важен для реальных приложений. Этот метод, по-видимому, является обобщением метода Йордана — Вигнера (Jordan P., Wigner E.— Z. Physik, 1928, В. 47, S. 631) и дает возможность не только придать симметричную форму электрон-позитронной теории, но и построить совершенно новую теорию для частиц без электрического заряда (нейтронов и гипотетических нейтрино). Хотя, по-видимому, сегодня еще нельзя экспериментально сделать выбор между новой теорией и той, в которой уравнения Дирака просто распространяются на нейтральные частицы, нужно иметь в виду, что новая теория вводит в эту неизученную область меньшее количество гипотетических объектов...»

Из второго параграфа:

«...преимущество этого метода (т. е. теории Майораны.— Б. П.) по сравнению с традиционной интерпретацией дираковских уравнений, как мы лучше увидим ниже, в том, что больше нет никаких причин предполагать существование антинейтронов или антинейтрино. Последние, действительно, используются в теории  $\beta$ -распада с испусканием позитронов (см.: Wick G. C.— Rend. Accad. Lincei, 1935, v. 21, p. 170), однако такая теория, очевидно, может быть модифицирована таким образом, что испускание позитрона, так же как и электрона, будет всегда сопровождаться испусканием нейтрино...»

Специально для молодого читателя, который с самого начала своей деятельно-

<sup>12</sup> Majorana E.— Nuovo Cimento, 1937, v. 14, p. 171.

<sup>13</sup> Amaldi E. La vita e l'opera di Ettore Majorana. Roma, 1966.

сти привык слышать не только об электрических, но также и о других типах «зарядов» (барионном, лептонном и т. д.), я хотел бы подчеркнуть, что в 1937 г. было известно понятие только электрического заряда. Именно Майорана первым явно ввел представление об истинно нейтральных фермионах, или частицах Майораны, т. е. фермионах, которые идентичны своим собственным античастицам. Частицы Майораны были названы им «двухкомпонентными» (одна частица с двумя ориентациями спина), в то время как частицы Дирака являются четырехкомпонентными (частица и античастица, каждая с двумя ориентациями спина). Майорана рассматривал «материальные» частицы (с конечной массой покоя). Кроме того, поставив вопрос об электрически нейтральных фермионах, описываемых либо его теорией, либо теорией Дирака, Майорана в неявном виде ввел представление о зарядах, отличных от электрического. Майорановские частицы — это фермионы, которые не имеют ни электрического, ни какого-либо другого заряда. Электрически нейтральные фермионы, которые не являются частицами Майораны, описываются теорией Дирака. Они — не истинно нейтральны и обладают каким-то (не электрическим) зарядом. Заметим, что в явном виде понятие барионного<sup>14</sup> и лептонного<sup>15</sup> зарядов были введены только в 1949 и в 1953 гг.!

Из одной фразы Майораны, которую я цитировал выше, видно, что он определенно имел в виду следующий вопрос: может ли быть установлена с помощью современных (1937!) экспериментов природа фермионов — майорановские они или дираковские? Касаясь этого вопроса, я буду рассматривать прежде всего нейтрино, оставляя в стороне два очень важных обстоятельства, которые Майорана тогда не мог учитывать:

а) продольную поляризацию нейтрино<sup>16</sup>, связанную с несохранением четности (1957),

б) возможность небольшого наруше-

ния закона сохранения (лептонного) заряда и связанную с этим возможность существования нестационарных нейтринных состояний — так называемое явление осцилляций нейтрино<sup>17</sup> (1958). (В современной терминологии: собственные состояния гамильтониана слабых взаимодействий не обязательно должны быть собственными состояниями оператора массы.)

Как можно судить по одной из приведенных выше цитат, Майорана, по-видимому, думал об экспериментах, которые, в принципе, могут ответить на следующий вопрос: способны ли нейтральные лептоны, испускаемые, скажем, вместе с отрицательными  $\beta$ -лучами, поглотиться ядром с испусканием снова отрицательных электронов? Я думаю, что он не упоминал явно о такой возможности потому, что в то время детектирование нейтрино — к сожалению, и ошибочно — не считалось ни серьезным предложением, ни даже приличным предметом для обсуждения (поскольку ожидаемое сечение до смешного мало!).

Я лично сталкивался с дилеммой нейтрино Майораны или нейтрино Дирака не однажды, и каждый раз это было долго. Впервые — когда я предложил и разработал хлор-аргоновый метод детектирования нейтрино<sup>18</sup>, в другой раз — когда рассматривал возможность нейтринных осцилляций<sup>19</sup> (об этих эпизодах я буду говорить ниже, в других разделах), и снова в 60-х, 70-х и 80-х годах в связи с теорией осцилляций и двойного  $\beta$ -распада.

Рака почти немедленно реагировал<sup>20</sup> на статью Майораны и был первым, кто ясно изложил упомянутую выше идею о различном поведении дираковских и майорановских нейтрино при обратном  $\beta$ -распаде.

Поскольку ко времени появления статьи Рака урановые реакторы и методы детектирования нейтрино еще не существовали, она не оказала непосредственного влияния на развитие экспериментов со свободными нейтрино. Однако следует упомянуть, что теоретическая интерпретация «негативного» результата в успешном хлор-аргоновом эксперименте Дэвиса на реакторе<sup>21</sup> основывалась на идее, впервые высказанной Рака. На первый взгляд, резуль-

<sup>14</sup> Wigner E.— Proc. Am. Phil. Soc., 1949, v. 93, p. 521. См. также: Stueckelberg E.— Helv. Phys. Acta., 1939, v. 11, p. 225; Weyl H.— Z. Phys., 1929, B. 56, S. 330.

<sup>15</sup> Marx G.— Acta Phys. Hung., 1953, v. 3, p. 56; Зельдович Я. Б.— Доклады АН СССР, 1952, т. 86, с. 505; Konopinsky E., Mahmoud H.— Phys. Rev., 1953, v. 92, p. 1045.

<sup>16</sup> Landau L.— Nucl. Phys., 1957, v. 3, p. 127; Lee T., Yang C.— Phys. Rev., 1957, v. 105, p. 1671; Salam A.— Nuovo Cimento, 1957, v. 5, p. 299.

<sup>17</sup> Понтекорво Б. М.— ЖЭТФ, 1957, т. 33, с. 549; Он же.— ЖЭТФ, 1958, т. 34, с. 247.

<sup>18</sup> См. сноску 2.

<sup>19</sup> См. сноску 17.

<sup>20</sup> Rasetti G.— Nuovo Cimento, 1937, v. 14, p. 322.

<sup>21</sup> Davis R.— Phys. Rev., 1955, v. 97, p. 766.

тат Дэвиса, что антинейтрино из реактора не могут поглощаться с испусканием отрицательных электронов, может интерпретироваться (и это было именно так) как демонстрация дираковской природы нейтрино, если хотите, как демонстрация существования некоего (не электрического) заряда нейтрино. Однако, как это известно теперь, такая интерпретация преждевременна из-за важных обстоятельств а) и б), которые упомянуты выше. Об этом будет сказано несколько слов в заключение данного параграфа.

Вернемся к идее Майораны. В 1938 г. появилась статья Фарри<sup>22</sup>, которая представляется мне типичной «инкубационной» статьей. Она была стимулирована идеями Майораны и Рака и не содержала очень важных результатов. В этой статье в деталях описан ход рассуждений Рака о возможных ядерных реакциях, индуцируемых майорановскими и дираковскими нейтрино. Однако она скорее пессимистична в отношении возможности экспериментального решения дилеммы нейтрино Майораны — нейтрино Дирака и является предвестником следующей, очень умной и важной статьи Фарри<sup>23</sup>, где впервые рассматривался безнейтринный двойной  $\beta$ -распад.

В безнейтринном двойном  $\beta$ -распаде нейтральный лептон, виртуально испускаемый нейтроном совместно с отрицательным электроном, должен поглотиться другим нейтроном с испусканием второго отрицательного электрона. «Цепочка Рака» здесь присутствует, но идея эксперимента нова и в этом случае очень остроумна. Поиски безнейтринного двойного  $\beta$ -распада сегодня даже более, чем в прошлом, важны и могут дать ответ на вопрос относительно природы нейтрино (майорановской или дираковской). Безнейтринный двойной  $\beta$ -распад до сих пор еще не наблюдался: для его обнаружения проводились и проводятся сейчас смелые и важные эксперименты. Наблюдение такого распада с определенностью означало бы,

что нейтрино, соответствующие стационарным состояниям, имеют майорановскую природу. Отрицательный результат поисков безнейтринного двойного  $\beta$ -распада не легко однозначно интерпретировать из-за обстоятельств а) и б), упомянутых выше.

Здесь, по-видимому, уместно подчеркнуть, что отрицательные результаты экспериментов на ядерных реакторах с использованием хлор-аргонового метода и, в особенности, поисков безнейтринного двойного  $\beta$ -распада уже показали, что спиральность нейтрино (играющая роль лептонного заряда) почти идеальна, если не абсолютно идеальна<sup>24</sup>. Однако вернемся к Майоране и рассмотрим теперь нейтрон.

Приходится только удивляться, как много, явно или неявно, подразумевается в его знаменитой статье. Я уже подчеркивал, что там можно найти (непосредственно или между строк) электрически нейтральные фермионы совсем без заряда или с каким-либо зарядом (лептонным, барионным и т. п.). Правда, неявно все заряды предполагаются строго сохраняющимися, хотя это и не сформулировано. Теперь мы знаем, что среди бозонов, по-видимому, есть «гибридные» частицы, т. е. бозоны с нестрогим сохраняющимся зарядом<sup>25</sup>, осциллирующие между двумя различными состояниями, как нейтральные каоны. Если существуют такие электрически нейтральные гибриды среди фермионов<sup>26</sup>, то мы вправе ожидать, что они не описываются стационарными состояниями и осциллируют, переходя друг в друга. Такие частицы являются суперпозицией частиц с определенными (различными) массами, которые описываются стационарными состояниями и являются истинно нейтральными (или майорановскими) фермионами.

Теперь позвольте мне немножко пошутить — вы увидите, к чему я клоню — нейтроны и нейтрино Майораны, описанные в статье 1937 г., явились предвестниками свежего ветра Теории Великого Объединения — с конечной массой нейтрино, осцилляциями нейтрино и нейтронов, нуклонным распадом и всем прочим!

<sup>22</sup> Furry W.— Phys. Rev., 1938, v. 54, p. 56.

<sup>23</sup> Furry W.— Phys. Rev., 1939, v. 56, p. 1184. (Безнейтринный двойной  $\beta$ -распад.) Двойной  $\beta$ -распад с испусканием двух нейтральных лептонов рассматривался М. Гелперт-Майер (Phys. Rev., 1935, v. 48, p. 512). Ранние детали теоретических исследований безнейтринного двойного  $\beta$ -распада имеются в статьях: Зельдович Я. Б. и др.— Успехи физ. наук, 1954, т. 54, с. 361; Primakoff H., Rosen S.— Rep. Prog. Phys., 1959, v. 12, p. 121. В них также можно найти ссылки на предыдущие экспериментальные работы.

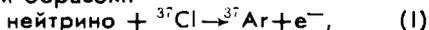
<sup>24</sup> Для ясности я хотел бы подчеркнуть здесь, что лучки «феноменологических» нейтрино и антинейтрино, те самые слова и обозначения  $\nu$  и  $\bar{\nu}$ , с которыми имеет дело каждый экспериментатор, осуждены остаться в физике на долгое время, даже если точка зрения Майораны правильна.

<sup>25</sup> Gell-Mann M., Pais A.— Phys. Rev., 1955, v. 97, p. 1387.

<sup>26</sup> См. сноску 17.

## ХЛОР-АРГОНОВЫЙ МЕТОД

Теперь я хотел бы дать субъективный отчет о нескольких страницах развития нейтринной физики, к которым я был некоторым образом причастен. В 1946 г. нейтрино рассматривались, вообще говоря, как недетектируемые частицы. Многие уважаемые физики придерживались того мнения, что даже сам вопрос о детектировании свободных нейтрино просто бессмыслен (и не только из-за временных трудностей), так же, как, скажем, бессмыслен вопрос, бывает ли в сосуде давление, меньшее, чем  $10^{-50}$  атмосфер. Я хорошо помнил об аргументе Бете и Пайерлса<sup>27</sup> и пришел к выводу, что появление мощных ядерных реакторов сделало детектирование свободных нейтрино вполне приличным занятием. Я жил тогда в Канаде и был хорошо знаком с физикой реакторов. Канадский реактор NRX, в создании которого я принимал участие, еще не работал, но мне было ясно, что под очень компактной защитой, значительно ослабляющей мягкую компоненту космических лучей, можно иметь поток нейтрино порядка  $10^{12} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ . В то время сцинтилляторы, которые много лет спустя были так успешно использованы Райнесом и Коузном<sup>28</sup> для детектирования реакторных антинейтрино, еще не были созданы и мне пришлось в голову, что проблема может быть решена радиохимическими методами, т. е. путем химической концентрации изотопа, образующегося при обратном  $\beta$ -процессе из очень большой массы вещества, облучаемого нейтрино<sup>29</sup>. При внимательном осмотре знаменитой таблицы искусственных изотопов Сиборга нашлось несколько возможных кандидатов на мишень, среди которых наиболее подходящими оказались соединения хлора. Соответствующая реакция выглядит следующим образом:



где  ${}^{37}\text{Ar}$  распадается путем К-захвата с высвобождением 2,8 КэВ энергии в виде рентгеновских лучей и электронов Оже. Я написал здесь «нейтрино», а не  $\bar{\nu}_e$ , потому что вопрос о том, отличается ли  $\nu$  от  $\bar{\nu}$ , был еще неясен<sup>30</sup>. Имеется множество практических

доводов в пользу  ${}^{37}\text{Cl}$ , я не буду перечислять их здесь. Однако один из них не был мне известен а priori, он был открыт случайно. Для испытаний будущего нейтринного детектора мы на Чок Ривер обычно приготавливали в реакторе  ${}^{37}\text{Ar}$  и помещали его внутрь детектора, который, согласно нашим намерениям, должен был быть — и был фактически — счетчиком Гейгера — Мюллера. И вот однажды, взглянув на осциллограф, который был подключен к счетчику, мы увидели множество импульсов примерно одинаковой амплитуды от  ${}^{37}\text{Ar}$ , причем напряжение на счетчике было много ниже гейгеровского порога. Таким образом мы обнаружили<sup>31</sup> (независимо от Каррена и др. в Глазго) пропорциональный режим при очень высоком газовом усилении ( $>10^6$ ). Это было, разумеется, крайне важно с точки зрения детектирования нейтрино, поскольку позволяло уменьшить эффективный фон счетчика. В то время бытовало убеждение, что пропорциональные счетчики не могут работать при коэффициентах газового усиления, больших 100. Это, разумеется, справедливо, если начальная ионизация ( $\alpha$ -частицы и т. п.) велика, но абсурдно, если она соответствует всего нескольким парам ионов.

В моей статье<sup>32</sup> 1946 г. я уже рассматривал в качестве источников нейтральных лептонов не только мощные реакторы, но также и концентрат радиоактивных элементов, извлеченных из реактора, и... Солнце.

Я обсуждал хлор-аргоновый метод (включая возможности, предоставляемые Солнцем) с Ферми в Чикаго (кажется, в 1948 г.) и позже в 1949 г. на конференции в Базеле и Комо. Ферми совсем не был энтузиастом применения этого метода к нейтрино, но ему очень понравились наши пропорциональные счетчики, с по-

что  $\nu_e \neq \bar{\nu}_e$  в том смысле, что нейтральный лептон, испускаемый при  $\beta^-$ -распаде вместе с электроном, имеет другую спиральность, чем нейтральный лептон, испускаемый вместе с позитроном при  $\beta^+$ -распаде. Однако, как показано в предыдущем разделе, такой ответ не решает главного вопроса сегодняшней нейтринной физики: имеют ли нейтрино майорановскую массу? Другими словами, являются ли частицы, описываемые собственными массовыми состояниями, майорановскими частицами?

<sup>31</sup> Kirkwood D., Pontecorvo B., Hanna G.— Phys. Rev., 1948, v. 75, p. 497; 1949, v. 75, p. 985; Pontecorvo B.— Helv. Phys. Acta, 1950, v. 3, p. 97.

<sup>32</sup> См. сноску 2.

<sup>27</sup> См. сноску 1.

<sup>28</sup> Cowan C., Reines F., Harrison F., Kruse H., McGuire A.— Science, 1956, v. 124, p. 103.

<sup>29</sup> См. сноску 2.

<sup>30</sup> Этот вопрос неясен и до сих пор (1982), но совершенно на другом уровне! Сегодня «феноменологический» ответ, конечно, гласит,

мощью которых мы вместе с Ханна впервые наблюдали  $\bar{\nu}$ -захват в  $^{37}\text{Ag}$  ( $\sim 250$  эВ,  $\sim 10$  ионных пар)<sup>33</sup> и измерили спектр трития, по тем временам существенно понизив верхний предел для массы нейтрино<sup>34</sup>. Теперь, оглядываясь назад, я очень хорошо понимаю реакцию Ферми. Кажется, Сегре сказал, что Дон Хихот не был героем Ферми. Он не мог отнестись с симпатией к эксперименту, который хотя и закончился блестяще благодаря героическим усилиям Р. Дэвиса, но много, много лет спустя после того, как был задуман.

Теперь я вернусь к вопросу о том, могут ли реакторные антинейтрино вызывать реакцию (1). Как-то в 1947 или 1948 г., проезжая через Цюрих, я завтракал с Прайсверком и Паули. Я рассказал Паули о моих планах с хлор-аргоновым методом. Сама идея ему очень понравилась, и он заметил, что неясно, будут ли «реакторные нейтрино» достаточно эффективно вызывать реакцию (1), но, по его мнению, по-видимому, должны. (Как видите, это точка зрения Майораны.) До 1950 г. я продолжал размышлять над этой проблемой, испытывая пропорциональные счетчики с низким фоном, имея в виду как эту задачу, так и проблему Солнца. Я помню, как Камерини, который в то время работал в Бристоле и был главным специалистом по «звездам», образуемым космическими лучами, помог мне рассчитать космический фон в различных хлор-аргоновых экспериментах, которые я планировал провести. Во всяком случае, как мы знаем теперь, после недавних успешных экспериментов Дэвиса, эффективный фон в моих счетчиках был достаточно низок, чтобы можно было регистрировать солнечные нейтрино по распаду  $^{37}\text{Ag}$ . С 1950 г. я прекратил такие эксперименты, так как мне пришлось работать в ускорительной (а не реакторной) лаборатории, а также потому, что в СССР не было достаточно глубоких подземных лабораторий, пригодных для солнечных экспериментов (кстати, скоро этим можно будет заниматься на Баксанской нейтринной обсерватории в Приэльбрусье). Тем не менее все время я продолжал думать о счетчиках (...и о Солнце) и, когда я имел удовольствие встретиться с Р. Дэвисом на первой нейтринной конференции в Москве (1968), я высказал мнение, что измерение формы импульса от счетчика, в дополнение к измерению амплитуды,

должно привести к значительному уменьшению эффективного фона в таких солнечных экспериментах. Так оно и есть, как я позже узнал от Дэвиса на конференции «Нейтрино-72» в Венгрии.

Раз уж зашла речь об интерпретации экспериментов с солнечными нейтрино, я всесторонне исследовал важную роль возможных осцилляций нейтрино в солнечной нейтринной астрономии еще до первых результатов Р. Дэвиса, т. е. до того, как возникла так называемая загадка солнечных нейтрино. Я хотел бы поговорить об этом, но эта история слишком свежа, чтобы сейчас о ней рассказывать.

### СВОЙСТВА МЮОНОВ И ПОНЯТИЕ СЛАБОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Многие физики не знают, что после открытия радиоактивности понадобилось около 50 лет, чтобы зародилось и получило всеобщее признание понятие слабых взаимодействий. О коротком этапе этого периода, который связан с развитием наших знаний о свойствах мюонов и который начался со знаменитого эксперимента Конверси, Панчини и Пиччиони<sup>35</sup>, и будет сказано ниже.

Я работал в Канаде, когда впервые услышал об этом эксперименте. До 1947 г. физика космических лучей была для меня очень далекой областью. Некоторые сведения о ней я получил от моих друзей: во Флоренции от Бернардини и Оккиалини, в Париже от П. Эренфеста-младшего (многообещающего экспериментатора, который работал в группе Оже, занимавшейся космическими лучами, и безвременно погиб в горах), в Монреале от Разетти (одного из моих учителей, который в Квебеке впервые непосредственно измерил время жизни «мезотрона») и Оже (который провел такие же измерения совместно с Мазе и под руководством которого я работал в Канаде во время войны).

Итак, как только я прочел статью Конверси и др. и узнал о соображениях Ферми и др. по этому вопросу<sup>36</sup>, я был буквально пленен частицей, которую мы теперь называем мюоном. Эта была действительно интригующая частица: «заказанная» Юкавой и открытая Андерсоном, она, как обнаружили Конверси и др., «плохо себя вела», а именно: не имела ничего общего с частицей Юкавы! Я почувствовал себя

<sup>33</sup> Pontecorvo B., Kirkwood D., Hanna G.— Phys. Rev., 1949, v. 75, p. 982.

<sup>34</sup> См. сноску 10.

<sup>35</sup> Conversi M., Pancini E., Piccioni O.— Phys. Rev., 1947, v. 71, p. 209.

<sup>36</sup> Fermi E., Teller E., Weisskopf V.— Phys. Rev., 1947, v. 71, p. 314.

подхваченным антидогматическим ветром и начал задавать массу вопросов типа:

Почему спин мюона должен быть целым?

Кто сказал, что мюон должен распадаться на электрон и нейтрино, а не на электрон и два нейтрино или электрон и фотон?

Является ли заряженная частица, вылетающая при распаде мюона, электроном?

Испускаются ли при распаде мюона другие частицы, кроме электрона и нейтрино?

В какой форме высвобождается энергия при захвате мюона ядром?

На вопрос, связанный с захватом мюона, я ответил почти сразу<sup>37</sup> и, как выяснилось, правильно, отметив, что скорости ядерного захвата электрона и мюона очень близки (если принять во внимание разницу объемов, занимаемых электронной и мюонной орбитами). Ответы были таковы:

1) захват мюона должен быть процессом, практически идентичным  $\beta$ -процессу, и описываться реакцией<sup>38</sup>  $\mu^- + p = \text{нейтрино} + n$ ;

2) большая часть энергии, высвобождаемой в мюонном захвате, «невидима», поскольку она уносится в виде нейтрино — предположение, которое было подтверждено экспериментом и согласуется с первым ответом;

3) спин мюона должен быть равен  $1/2$ .

Очень трудным моментом для меня было объяснение обильного рождения мюонов космическими лучами. Я был уверен, что мюон — это фермион. Фермион не может рождаться в одиночку. Предположение об обильном рождении мюон-нейтринных пар противоречило моему основному заключению, что мюон-нейтринная связь с ядром слаба. Мне пришлось обратиться к теории Маршака о ядерных силах, возникающих за счет обмена парами заряженных лептонов. На самом деле эту теорию я не понимал и не достиг цели — не выявил истинный источник мюонов. Таким источником должен был быть объект, «беременный» мюонами, как образно и точно выразился Вайскопф<sup>39</sup>, по

какой-то причине также не достигший цели. Им является, конечно, пион. Правильный ответ был дан вскоре Маршаком и Бете<sup>40</sup> в их замечательной статье «О гипотезе двух мезонов», опубликованной примерно в то время, когда произошло эпохальное открытие пиона и  $\pi \rightarrow \mu$ -распада (Латтес, Оккиалини и Пауэлл)<sup>41</sup>.

То, что процессы ядерного захвата мюона и электрона очень похожи, т. е. что оба они являются «слабыми процессами», мне<sup>42</sup>, а затем и несколькими другим физикам<sup>43</sup> было абсолютно ясно в то время. Такая электрон-мюонная симметрия была первым намеком на универсальное слабое взаимодействие (но как далеко было до найденного в 1958 г. вида такого взаимодействия, т. е. до  $(V-A)$ -теории Маршака — Сударшана и Фейнмана — Гелл-Манна<sup>44</sup>, дополненной впоследствии идеей Кабибо о смешивании адронов!).

Что же касается вопросов, связанных с распадом мюонов, на них можно было получить ответ только с помощью соответствующих экспериментов. Я стал активно интересоваться физикой космических лучей, быстро прочел и усвоил выпущенную Гейзенбергом очень хорошую краткую брошюру по космическим лучам<sup>45</sup>, нечто вроде путеводителя для начинающих. Вместе с Тедом Хинксом, замечательным физиком, наделенным острым чувством юмора, мы начали совместные эксперименты. Это было очень дружеское, незабываемое и плодотворное сотрудничество. В короткий срок мы создали установку, достаточно сложную для того времени. Были использованы методы мгновенных и запаздывающих совпадений, и, разумеется, детекторами служили счетчики Гейгера. Мы работали в реакторной лаборатории и поэтому испытывали некоторое чувство вины, занимаясь космическими лучами. Правда, наш глава У. Сарджент (физик, который открыл правило, связывающее вероятность  $\beta$ -распада с энергией вылетающих электронов) благожелательно относился к нашей деятельности. И все же я не могу забыть, как неохотно мы с Тедом

<sup>37</sup> Pontecorvo B.— Phys. Rev., 1947, v. 72, p. 246.

<sup>38</sup> Прошло 15 лет, прежде чем реакции  $\mu + p \rightarrow n + \nu_\mu$  и  $\mu + {}^3\text{He} \rightarrow {}^3\text{H} + \nu_\mu$  были непосредственно обнаружены в экспериментах Р. Хильдебранда и наших собственных (совместно с Суляевым и др.).

<sup>39</sup> Weisskopf V.— Phys. Rev., 1947, v. 72, p. 510.

<sup>40</sup> Marshak R., Bethe H.— Phys. Rev., 1947, v. 72, p. 506.

<sup>41</sup> Latte G., Occhialini G., Powell C.— Nature, 1947, v. 160, p. 453.

<sup>42</sup> См. сноску 37.

<sup>43</sup> Klein O.— Nature, 1948, v. 161, p. 897; Puppi G.— Nuovo Cimento, 1948, v. 5, p. 587.

<sup>44</sup> Marshak R., Sudarshan E.— Phys. Rev., 1958, v. 109, p. 1860; Feynman R., Gell-Mann M.— Phys. Rev., 1958, v. 109, p. 193.

<sup>45</sup> Cosmic radiation. Ed. by W. Heisenberg. N. Y., 1946.

тратили лабораторные средства и как были счастливы, когда Тед изобрел «пороговый усилитель», который сэкономил много счетчиков, позволив существованию увеличить эффективность детектирования фотонов, испускаемых одновременно с электронами при гипотетическом  $\mu \rightarrow e\gamma$ -распаде! А между тем суммы, потраченные на все наши исследования космических мюонов в Канаде, были бесконечно малы в сравнении с тем, что тратится сегодня на типичный эксперимент в области физики высоких энергий в течение всего нескольких часов.

Мы нашли: 1) что распад  $\mu \rightarrow e\gamma$  происходит (мы искали запаздывающие электрон-фотонные совпадения)<sup>46</sup>; 2) что при распаде мюона испускаются три частицы,  $e, \nu, \nu'$  (мы измеряли спектр электронов методом поглощения)<sup>47</sup>; 3) что заряженная частица, испускаемая в распаде мюона, действительно является электроном (мы измеряли интенсивность его тормозного излучения)<sup>48</sup>. Первые два результата были получены независимо от нас также другими группами авторов<sup>49</sup>. Третий результат был получен только нашей группой. Именно он потребовал от нас максимума усилий и изобретательности, а с нынешних позиций он может показаться наименее значительным: чем же иным, как не электроном, может быть заряженная частица в распаде мюона? Однако следует учитывать сильный «антидогматизм», свойственный тому времени. Атмосферу сомнений, в которой мы жили, можно прочувствовать по названию одной из наших статей: «О стабильности нейтрального мезона». В этой работе<sup>50</sup> мы показали, что нейтральный мезон, существование которого тогда считалось возможным, либо вовсе не испускается при распаде мюона, либо время его жизни при распаде на два фотона не меньше  $10^{-10}$  с.

В заключение этих далеко не полных и субъективных воспоминаний о некоторых ранних мюонных исследованиях я должен упомянуть о теоретической работе, кото-

рая была и до сих пор остается очень важной: введении Мишелем параметра  $\zeta$  для распада мюонов<sup>51</sup>, или, в более общем смысле, описание Мишелем процессов, в которых участвуют два реальных нейтральных лептона.

Мы уже видели, что обнаружение безнейтринного двойного  $\beta$ -распада означало бы, что нейтрино имеет майорановскую массу. А идеология Мишеля — в случае успешного эксперимента с реальными нейтрино — может позволить сделать вывод, что оба нейтральных лептона суть дираковские частицы. Это подчеркивал С. П. Розен для случая рассеяния нейтрино на электроне, но это было так недавно, что я не чувствую себя вправе останавливаться на этой работе в соответствии с выбранной мной стратегией.

После появления первых ускорителей на релятивистские энергии пионы и мюоны начали получать искусственно. В 50-е годы их свойства стали исследовать в условиях, несравненно более благоприятных, чем прежние, но я не собираюсь рассказывать эту историю, вершиной которой было эпохальное (теоретическое<sup>52</sup> и экспериментальное<sup>53</sup>) открытие спиральности нейтрино.

## ФИЗИКА НЕЙТРИНО ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Мой рассказ здесь снова будет очень личным. Конечно, история выглядела бы совершенно иначе, если бы ее рассказывали М. А. Марков или М. Шварц. Я собираюсь рассказать о том, как я пришел к предложению проводить эксперименты с нейтрино высоких энергий, получаемых на мезонных фабриках и мощных ускорителях.

В Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ в 1958 г. проектировался протонный релятивистский циклотрон с энергией пучка 800 МэВ и током  $\sim 500$  мкА. В конечном счете он не был построен. Но с начала 1959 г. я начал думать об экспериментальной программе для этого ускорителя. Прежде всего мне пришлось в голову, что нейтринные опыты на ускорителе вполне осуществимы и что жизнеспособную и относительно дешевую нейтринную

<sup>46</sup> Hincks E., Pontecorvo B.— Phys. Rev., 1948, v. 73, p. 257; Idem.— Can. J. Res., 1950, v. 28A, p. 29.

<sup>47</sup> Hincks E., Pontecorvo B.— Phys. Rev., 1949, v. 75, p. 698; 1950, v. 77, p. 102.

<sup>48</sup> См. сноску 47.

<sup>49</sup> Sard R., Althaus E.— Phys. Rev., 1948, v. 74, p. 1364; Piccioni O.— Phys. Rev., 1948, v. 74, p. 1754; Steinberger J.— Phys. Rev., 1949, v. 75, p. 1136; Leighton R., Anderson C., Seriff A.— Phys. Rev., 1949, v. 75, p. 1432.

<sup>50</sup> Hincks E., Pontecorvo B.— Phys. Rev., 1948, v. 73, p. 1122.

<sup>51</sup> Michel L.— Proc. Roy. Soc., 1950, v. A63, p. 514.

<sup>52</sup> См. сноску 16.

<sup>53</sup> Garwin R., Lederman L., Weinrich M.— Phys. Rev., 1957, v. 105, p. 1415; Goldhaber M., Grodzins L., Sunyer A.— Phys. Rev., 1958, v. 109, p. 1015; Wu C., Ambler E. et al.— Phys. Rev., 1957, v. 105, p. 1413.

программу можно выполнить, направляя протонный пучок в большой железный блок, который служил бы одновременно и источником нейтрино и защитой. Я сказал бы, что идеология нейтринных экспериментов на ускорителе LAMPF, которые недавно начались, очень похожа на программу, предложенную мной 20 лет назад.

Об одном из экспериментов, который предназначался для выяснения вопроса, различны ли  $\nu_e$  и  $\nu_\mu$ , я хотел бы сказать несколько слов.

Я должен вернуться далеко назад, в 1947—1950 гг. Несколько групп, среди них Дж. Штейнбергер, Э. Хинкс и я, проводили исследования распада мюона в космических лучах. В результате было обнаружено, что распадающийся мюон испускает три частицы: один электрон (это мы установили по измерению тормозного излучения электрона) и две нейтральные частицы, которые разные люди называли по-разному: два нейтрино, нейтрино и нейтретто,  $\nu$  и  $\nu'$  и т. п. Я снова говорю об этом, подчеркивая, что для людей, работавших с мюонами в прежние времена, вопрос о разных типах нейтрино существовал всегда. Правда, позже некоторые теоретики забыли об этом и вновь изобрели два нейтрино. Но такие люди, как Бернардини, Штейнбергер, Хинкс и я, никогда не забывали о проблеме двух нейтрино. Конечно, постановка вопроса становилась для меня все более точной: появилась идея о возможных партнерах, в том смысле, что  $\nu_e$  всегда выступает партнером электрона,  $\nu_\mu$  — мюона. Я достаточно ясно сформулировал, как осуществить решающий эксперимент, используя пучки мюонных нейтрино<sup>54</sup>. Следовало искать мюоны и электроны, рождаемые в веществе мюонными нейтрино: если  $\nu_\mu \neq \nu_e$ , то рождающихся электронов должно быть много меньше, чем мюонов.

В 1959 г. была очень важна другая проблема: является ли четырехфермионное взаимодействие контактным или оно обусловлено обменом промежуточным бозоном? Этот вопрос стоит еще и сегодня, но теперь у нас есть теория Глэшоу, Салама и Вайнберга, которая предсказывает, что массы промежуточных бозонов составляют около 100 ГэВ, тогда как в 1959 г. только некоторые ученые, среди которых Я. Б. Зельдович и Ж. Лейте Лопес, думали, что промежуточные бозоны имеют массу  $\sim 100$  ГэВ, а обычно считалось (без серьезных на то оснований), что их масса — не-

сколько ГэВ. Очевидно, что промежуточный бозон не мог рождаться на мезонных фабриках, и в 1959 г. на международной конференции в Киеве Рындин и я предложили вторую идею опыта: искать бозон, используя нейтринные пучки, получаемые на ускорителях очень высоких энергий<sup>55</sup>. Теоретически это предположение основывалось на том, что при достаточной больших энергиях в сечении рождения промежуточного бозона с помощью нейтрино должно появляться  $G$  вместо  $G^2$ . Как известно, вопрос о промежуточных бозонах, по-видимому, будет решен не в нейтринных экспериментах. Проблема же двух типов нейтрино была разрешена в Брукхейвене в блестящих экспериментах Ледермана, Шварца, Штейнбергера и др. (1962).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ниже перечислены некоторые из главных проблем сегодняшней нейтринной физики. Эти вопросы, разумеется, связаны друг с другом.

1. Конечны ли массы нейтрино?
2. Все ли нейтральные лептоны много легче электронов?
3. Если массы нейтрино конечны, то все ли они имеют майорановские массы (в этом случае отсутствуют лептонные заряды) или все имеют дираковские массы (в таком случае существуют строго сохраняющиеся лептонные заряды)? Может быть, некоторые нейтрино имеют майорановские массы, а другие — дираковские?
4. Существует ли безнейтринный двойной  $\beta$ -распад?
5. Существуют ли нейтринные осцилляции?
6. Сколько имеется различных типов нейтрино?

Все эти вопросы стоят уже долгое время; многие поставлены еще Паули, Ферми, Перреном и Майораной. Однако не похоже, чтобы определенные ответы были получены в ближайшем будущем, хотя сегодня нейтринная физика — не только процветающая область исследований, но и «большой бизнес».

<sup>55</sup> Понтекорво Б. М., Рындин Р.— Тр. Межд. конф. по физике высоких энергий. Киев, 1959, с. 233.

<sup>54</sup> Понтекорво Б. М.— ЖЭТФ, 1959, т. 37, с. 1751.

## Атлантическая программа завершена (82-й рейс «Гломара Челленджера»)

**А. Е. Сузюмов,**  
кандидат геолого-минералогических наук  
Москва

Этот рейс был последним в серии рейсов по большой Атлантической программе и одновременно — первым из двух рейсов, посвященных изучению ба-

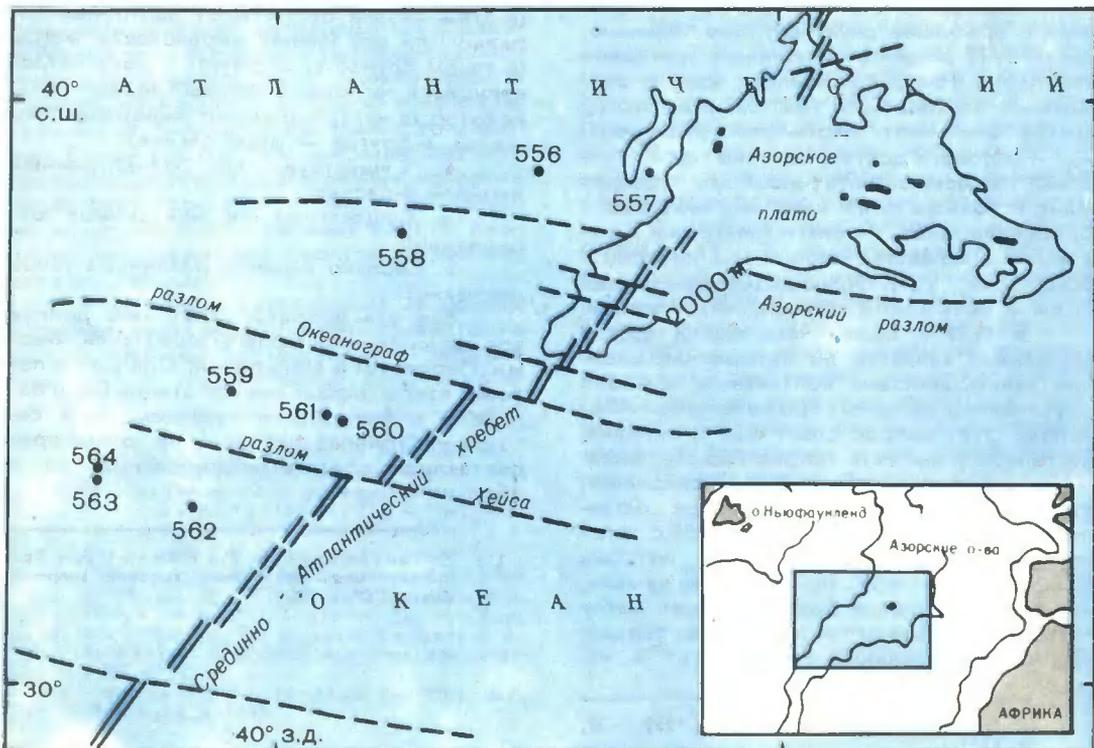
Расположение скважин 82-го рейса. Изобатой 2000 м обозначено Азорское плато. Двойная линия — ось Срединно-Атлантического хребта, пунктир — трансформные разломы.

зальтов океанической коры. Он начался 19 сентября 1981 г. в Понта-Делгада на Азорских о-вах (Португалия) и завершился 15 ноября в Бальбоа (Панама). Руководили экспедицией А. Бужоль (A. Boujou; Бретанский океанологический центр, Франция) и С. Кенд (S. Candé; Геологическая обсерватория им. Ламонта и Доэрти, США). На борту судна работали специалисты из США, ФРГ и Великобритании. В задачу экспедиции входило изучение петрологических аномалий в базальтах океанической коры в районе

Азорского архипелага и сопоставление этих базальтов с базальтами Срединно-Атлантического хребта<sup>1</sup>.

В рейсе было пробурено 9 скважин к западу и югу от вулканического поднятия Азорских о-вов (Азорского плато). Для бурения были выбраны две хорошо идентифицированные магнитные аномалии: 5Д с возрастом 18,5 млн лет и 13 с возрастом 35 млн лет.

<sup>1</sup> JOIDES Journal, 1981, v. VII, № 3, p. 33.



Таблица

## Скважины 82-го рейса «Гломар Челленджера»

№	Координаты		Глубина дна, м	Глубина скважины, м	Мощность осадков, м	Выход керна в базальтах, %
	с. ш.	з. д.				
556	38°56,38	34°41,12	3672	639	461,5	44,6
557	38°49,95	32°33,58	2143	463,5	460	40
558	37°46,24	37°20,61	3754	561	406	38,4
559	35°07,45	40°55,00	3754	301	238	37
560	34°43,33	38°50,56	3443	421,5	374,5	16
561	34°47,10	39°01,70	3459	426,5	411,5	40
562	33°08,49	41°40,76	3172	331	240	45
563	33°38,53	43°46,04	3796	382,5	364	48,7
564	33°44,36	43°46,03	3820	365	284	43

По сейсмическим данным было известно, что район Азорского архипелага по глубинному строению резко отличается от Срединно-Атлантического хребта. Он расположен на стыке трех плит литосферы — Африканской, Евразийской и Северо-Американской — и, вероятно, своим возникновением обязан взаимным перемещениям этих плит. Высказывалась также гипотеза, что в этом районе из нижней мантии Земли к ее поверхности поднимается «струя» разогретого глубинного вещества.

После 37-го и 49-го рейсов «Гломар Челленджера» и ряда драгировок было известно, что в районе Азорского плато широко распространены «аномальные» базальты; они характеризуются высокой величиной отношения концентраций  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  и высоким содержанием легких редкоземельных элементов. В противоположность этому «нормальные» базальты срединно-океанических хребтов отличаются низким стронциевым отношением и обеднены легкими редкоземельными элементами. Эти данные указывают на то, что базальты Азорского плато и Срединно-Атлантического хребта выплывали из разных мантийных источников. Азорское плато, как уже сказано, образовалось в районе тройственного сочленения плит; здесь создались своеобразные геодинамические условия, при которых к поверхности дна поступает вулканический материал, вероятно, с больших глубин,

чем при простом спрединге в зоне срединно-океанических хребтов.

Скважины 82-го рейса не были глубокими: максимальное проникновение в базальты составило 178 м в скважине 556.

Как правило, каждая скважина вскрыла несколько пластов базальтов различной мощности (до девяти в скважине 558). Среди них преобладают подушечные базальты, но встречались и массивные тела. Однако в нескольких скважинах (556, 558, 560) под маломощным чехлом базальтов или же непосредственно под осадками обнаружены серпентиниты<sup>2</sup>, серпентинитовая брекчия. Обычно эти породы встречаются в океанической коре значительно глубже либо выводятся к ее поверхности по разломам. Большое количество встреченных серпентинитов пород дало основание участникам рейса высказать гипотезу о том, что они гораздо шире распространены в верхних этажах океанической коры, чем представлялось ранее. Видимо, это связано с интенсивным раздроблением коры.

Бурение показало, что влияние аномального мантийного источника, связанного с Азорским плато, распростра-

няется вдоль Срединно-Атлантического хребта далеко на юг (примерно на 400 км), а исчезает только южнее разлома Хейса. Однако и севернее этого разлома «нормальные» и «аномальные» базальты встречаются совместно; в ряде скважин (558, 561) они переслаиваются друг с другом. Это говорит о том, что процесс выплавки вулканического материала в мантии происходит на разных глубинах, и при соответствующих геодинамических условиях более глубокие породы, так же как и «нормальные» базальты, поступают на поверхность дна в рифтовой зоне.

Во всех скважинах были проведены геофизические измерения (каротаж). Они показали, что если для осадочного комплекса могут быть выделены отдельные границы, прослеживающиеся на большой площади, то для лавовых потоков, как правило, установить корреляцию трудно даже в близко расположенных скважинах. Видимо, при излиянии базальты растекаются в пределах узкой зоны и не образуют протяженных покровов.

По окончании работ в 82-м рейсе «Гломар Челленджер» покинул Атлантический океан, чтобы приступить к глубоководному бурению в Тихом океане.

<sup>2</sup> Серпентиниты — метаморфические породы, образовавшиеся в результате гидратации (обводнения) основных и ультраосновных пород.

## Судьба вернеровской «луковицы»

Ю. С. Салин



Юрий Сергеевич Салин, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией слоистых структур Института тектоники и геофизики Дальневосточного научного центра АН СССР. Занимается проблемами стратиграфии, в том числе математическими методами решения стратиграфических задач. Автор монографии: Количественные методы в палеонтологии и биостратиграфии. Новосибирск, 1972; Конструктивная стратиграфия. М., 1979.

Лайель и Вернер. Можно ли ставить рядом эти два имени?

Чарлза Лайеля знает каждый школьник. Лайель внес неоценимый вклад в формирование материалистического мировоззрения. О его роли в формировании теории биологической эволюции неоднократно и с благодарностью упоминал Ч. Дарвин. Лайелевское эволюционно-историческое учение проникло даже в географию — прямо из геологии и опосредованно через биологию. Что же касается геологии, то последние полтора столетия она развивалась в том направлении, которое задал ей именно Лайель. Большинство геологов, по-видимому, согласится с таким его определением: «Геология есть наука, рассматривающая постепенные изменения в органическом и неорганическом царствах природы; она разбирает причины этих изменений и то влияние, которое они производили на преобразование поверхности и внешнего строения нашей планеты. При помощи таких исследований состояния Земли и ее обитателей в первобытные периоды мы приобретаем более точное познание о ее теперешнем состоянии и более верный взгляд на законы, ныне управляющие ее одушевленными и неодушевленными произведениями»<sup>1</sup>.

Конечно, наш современник может внести некоторые поправки: во-первых,

изменения не только постепенные; во-вторых, преобразования не только поверхности и внешнего строения. В основном же общая или теоретическая геология за весь послелайелевский период развивала и совершенствовала два главных положения приведенного определения: первое — геология есть исследование изменений нашей планеты и выявление их причин; второе — при помощи таких исследований устанавливаются закономерности строения Земли. В полном соответствии с этими требованиями строились и строятся теории происхождения нефти, теории движения плит земной коры и противостоящие ей фиксистские теории, эволюционная палеонтология, теория метаморфизма и все другие отрасли геологии.

Абраама Готлиба Вернера в школе «не проходят». Образованный читатель знает лишь о его ошибках. Вернер заблуждался, приписывая базальту водное происхождение. Будучи главой школы нептунистов, он недооценил роль внутренних сил, жара земного в образовании земной коры. Наконец, он не смог правильно понять строение Земли. Конечно, он тоже сделал немало полезного — ведь не только за

<sup>1</sup> Лайель Ч. Основные начала геологии, т. 1, М., 1866, с. 1.

свои ошибки этот немецкий геолог и минералог попал в историю науки! И все-таки, читая новейшие изыскания по истории геологии, трудно понять, чем ему обязана современная геология.

А вот для авторов старинных трактатов все было ясно. Современник Вернера профессор Московского университета А. А. Иовский писал: «Первая эпоха заключается в себе самые произвольные предположения. Вторая эпоха начинается с Вернера, который первый геогеническим мечтам противопоставил строгое наблюдение и точные исследования. Ему мы обязаны определением слоев Земли, хорошею терминологиею и строгим очерчением главных периодов, в которые образовались разные оскальности»<sup>2</sup>. Интересно мнение еще одного современника Вернера писателя, переводчика и популяризатора науки А. Ф. Севастьянова: «Получа от одного из моих сочленов, бывшего во Фрейберге, рукопись геогнозии господина Вернера и прочитав оную со вниманием, столь пленился порядком, в ней находящимся, и точностью, с каковою каждая мысль выражена, что решился преложить оную на российский язык, тем паче, что мы до сих пор на природном нашем языке не имеем ни одной книги, по которой бы сей приятной и полезной науке обучать было можно»<sup>3</sup>. Знаменитый французский зоолог Ж. Кювье считал Вернера основоположником геологии как точной науки о Земле.

Ну, а как оценивал роль Вернера Лайель? «Гениальность этого человека вполне заслуживала того удивления и тех чувств признательности и дружбы, которые питали к нему все ученики его; но чрезмерное влияние, оказанное им на мнения современников, повредило впоследствии успехам науки. Вред был так велик, что значительно превысил пользу, доставленную его трудами»<sup>4</sup>.

В чем же заключается этот вред, и в чем состояла польза? «Главная заслуга Вернеровской системы преподавания заключалась в неуклонном направлении внимания своих слушателей на постоянные отношения наслоенности в известных минеральных группах...», но «в настоящее время ясно, что саксонский профессор ложно толковал многие из самых важных явлений

даже в непосредственном соседстве с Фрейбергом»<sup>5</sup>. Итак, вред заключался в ложности вернеровских толкований слоистого строения земного шара, толкований, распространяемых Вернером на весь мир, но опровергаемых наблюдениями уже в пределах одного дня ходьбы от Фрейберга. Но, может быть, дело не в этом? Нет, как будто все правильно. «Первые исследователи были так поражены громадным горизонтальным протяжением однородных пород, что слишком поспешно составили мнение, будто весь земной шар окружен рядами различных водных формаций, расположенных вокруг ядра планеты подобно концентрическим слоям луковицы»<sup>6</sup>. Первыми исследователями были, конечно, Вернер и его ученики.

## ПОЧЕМУ ТАК МНОГО КРИТИКОВ?

И все-таки суровость приговора поначалу вызывает сомнения. Много ли вреда может принести поспешно составленное мнение? Стоит ли оно такого критического внимания? Как ни странно, оказалось, что стоит. Г. Спенсер излагает «гипотезу Вернера» в стиле иронического пересказа: «По всему пространству земного шара те же непрерывные слои лежат один на другом в правильном порядке наподобие лепестков луковицы»<sup>7</sup>. Далее он полностью развенчивает гипотезу: невозможно представить, как могли образоваться такие лепестки; но даже если бы и могли, все равно в действительности строение Земли совсем иное. И в обоснование Г. Спенсер приводит многочисленные аргументы.

Вроде бы критики правы. Не так устроена земная кора. А как? Может, в этой «поспешной» конструкции «луковичных лепестков» что-то есть? Известный исследователь геологических фаций Н. А. Головкинский подтверждает это: «Послойно параллелизуя формации одной страны с формациями другой, мы обыкновенно не объясняем оснований, на которых держится наш метод, как будто он прост и непогрешим, как аксиома. А всмотришься ближе, и возникает подозрение, что это не аксиома, а остаток полупоэтических, полуневежественных старых воззрений, по которым наружная часть земного шара со-

<sup>2</sup> Иовский А. Опыт руководства к познанию внутреннего строения и образования земного шара. М., 1928, с. 9.

<sup>3</sup> Севастьянов А. Ф. Геогнозия или наука о горах и горных породах. СПб, 1810, с. 1.

<sup>4</sup> Лайель Ч. Цит. соч., с. 52.

<sup>5</sup> Там же, с. 52—53.

<sup>6</sup> Лайель Ч. Руководство к геологии, т. 2. СПб, 1866, с. 126—127.

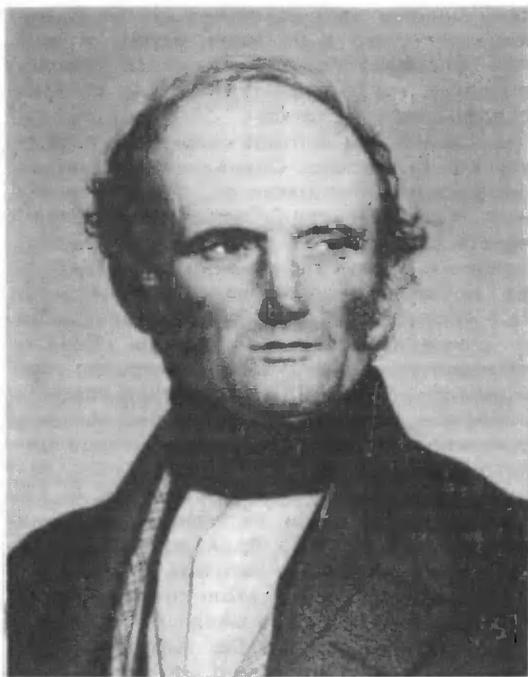
<sup>7</sup> Спенсер Г. Неологическая геология.— В кн.: Научные, политические и философские опыты, т. III, СПб, 1866, с. 292.



А. Г. Вернер (1750—1817).

стояла из непрерывных, концентрических, всюду одинаковых слоев»<sup>8</sup>.

Ситуация проясняется. Ведь все свои исходные фактические данные геология получает в виде наблюдений разрозненных точек, линий, фрагментов поверхностей. Это или отдельные обнажения и буровые скважины, или профили по обрывам морских и речных берегов, или обширные, но все же отделенные друг от друга склоны горных хребтов. Возникает задача увязать все эти фрагменты в единое целое, представить, как ведут себя слои там, где мы их не видим. Это и есть задача построения геологической карты — пространства без «белых пятен». И если верить Головкинскому, оказывается, что в основе методов увязки (у геологов эта процедура называется стратиграфической корреляцией, от лат. *stratum* — слой) лежит вернеровская модель луковичных лепестков! Домысливая невидимое, геолог представляет его устроенным по образу и подобию вернеровской «луковицы». И хотя на словах каждый геолог считает своим догом раскри-



Ч. Лайель (1797—1875).

तिकовать «поспешные» вернеровские построения, все действия, которые он предпринимает при стратиграфической корреляции, основаны на «тайном веровании» в гипотезу Вернера! Это верование настолько сильно, что его не могут поколебать никакие факты. Если непрерывность «луковичных лепестков» нарушена разломами, если слои разобщены долинами, проливами, геолог все равно мысленно соединяет их в процессе корреляции, называя при этом «первично непрерывными» или «непрерывными в процессе формирования». Обнаружился неодинаковый порядок одних и тех же тел — значит, они выделены неправильно, по «неправильным» признакам или к одному и тому же телу отнесены части, «на самом деле» принадлежащие разным телам. Вот и получается, что геолог смотрит на мир сквозь призму модели Вернера.

#### ВЫБОР ПУТИ

Является ли геология единой наукой, или это конгломерат различных дисциплин? Существует ли у нее единое основание? Если да, то каковы ее основополагающие понятия, исходные посылки, какова та фун-

<sup>8</sup> Головкинский Н. А. Материалы для геологии России, СПб, 1869, с. 407.

даментальная модель, которая при своем дополнении и усложнении способна охватить все или, по крайней мере, большинство отраслей геологии?

В работах Лайеля общегеологических фундаментальных понятий и моделей найти не удастся. Исходные же посылки носят скорее философский, чем конструктивный характер. Это не столько утверждения, сколько указания. Их невозможно положить в основание теории подобно аксиомам Евклида и законам Ньютона. Да и с философской точки зрения они далеко не бесспорны. Выявление закономерностей строения Земли через познание ее истории — не единственный и не самый простой способ. Еще труднее установить причины исторических изменений.

«Можно думать, что подобно Гук и Гюйгенсу, — пишет С. И. Вавилов, — физики надолго застряли бы в гипотезах о «причинах тяготения», прежде чем прийти к формальному закону Ньютона»<sup>9</sup>. Положение в современной геологии во многом аналогично положению в физике доньютоновской эпохи. Геологи уделяют огромное внимание выявлению причин рудообразования, движений земной коры, эволюции, но результаты в виде установленных закономерностей строения Земли пока не соответствуют затраченным усилиям.

И наряду с этими доминирующими в теоретической геологии наших дней исследованиями на уровне «тайного верования» развивается и совершенствуется столько раз раскритикованная, осмеянная и похороненная теория Вернера!

### ЛУКОВИЧНЫЙ ЛЕПЕСТОК — ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ, ЗАДАННЫЙ ПРОЦЕДУРОЙ ПОСТРОЕНИЯ

Многие геологи, совершенно справедливо указывающие, что все реальные слои где-то заканчиваются, конечно же, правы. Но это правота добросовестного наблюдателя Протагора, утверждающего, что окружность касается прямой не в одной точке<sup>10</sup>. Процедура же конструирования Вернером теоретических геологических объектов выглядит безукоризненной. Ведь от наблюдения реального «громздного горизонтального протяжения однородных пород» до идеализации — протяжения через весь земной шар — всего один шаг, напрашивающийся сам собой.

Можно было бы подумать, что дело сводится к примитивной экстраполяции: увидел Вернер в обрыве слой, протягивающийся далеко-далеко, и представил, что он тянется еще дальше, вокруг света. Но луковичный лепесток — не образ, а теоретическая конструкция, он строится, хотя и очень просто. Просто, как все фундаментальное.

Исходное понятие при построении — разрез, последовательность слоев от нижнего к верхним, описанная в конкретной скважине, шахте, обрыве речного или морского берега, в любом другом искусственном или естественном обнажении. Задолго до Вернера был известен закон Стено, позволяющий установить возрастную последовательность слоев одного и того же разреза: выше — значит моложе. Но этот закон ничего не говорил об одновозрастности слоев разных разрезов. Вернер предложил устанавливать одновозрастность по сходству литологических признаков, т. е. по сходству состава горных пород, слагающих слои. Если в любом из разрезов каждый тип горной породы (известняк, песчаник, базальт и т. д.) встречен в последовательности слоев один лишь раз и если последовательности смены литологических признаков в разных разрезах совпадают, таким определением одновозрастности можно пользоваться. Противоречий с законом Стено не возникает. Последний шаг в построении — утверждение, что одновозрастные (и литологически неизменные) слои, встреченные в некоторых исследованных разрезах, присутствуют и во всех остальных местах, полностью опоясывая земной шар.

Однако впоследствии были обнаружены случаи повторяемости пород в пределах одного разреза. Например, в разрезе I наблюдалась такая последовательность: самый нижний слой сложен аргиллитом, выше он сменяется песчаным слюем, а еще выше — снова аргиллитовым. В разрезе II встречен лишь один аргиллитовый слой. По определению Вернера, оба слоя из разреза I эквивалентны ему по возрасту и, следовательно, одновозрастны между собой. Но закон Стено заставляет сделать вывод об их разновозрастности — ведь один из них выше, а значит моложе другого. Попытаемся установить противоречие: только один аргиллитовый слой из разреза I эквивалентен по возрасту аргиллитовому слою из разреза II, но какой? Возникает неоднозначность выбора. Первое опровержение Вернера последовало безоговорочно.

<sup>9</sup> Вавилов С. И. Исаак Ньютон. М., 1961, с. 53.

<sup>10</sup> Аристотель. Метафизика. Собр. соч., т. 1, М., 1975.

Тем не менее теоретическая конструкция осталась. Просто было признано, что литологические признаки — это «плотные» признаки, и вопрос был поставлен так: где найти новые признаки, которые можно подогнать под старую модель? Признаки были найдены, ими оказались роды и виды древних организмов. Это открытие сделал английский инженер В. Смит. В современной формулировке закон Смита звучит так: слои, содержащие одинаковые окаменелости, одновозрастны. Замена литологических признаков палеонтологическими устранила все противоречия и неоднозначности. Окаменелости разных видов сменялись в каждом из разрезов без повторений, последовательности смены в разных местах были одинаковыми.

Сначала все шло хорошо. Повторяемость литологически одинаковых слоев не мешала их прослеживанию: некоторый песчаный слой разреза А объединялся в единое непрерывное тело с тем из сотни песчаных слоев разреза В, которому он был эквивалентен по возрасту (что устанавливалось по сходству окаменелостей). Последовательность смены окаменелостей оказалась прекрасным рабочим инструментом. Она получила даже собственное название — «геохронологическая (или возрастная) шкала», или, как передавал на русском языке немецкий термин *Altersscala* А. Таскин, переводчик труда Б. фон Котты «Геология настоящего времени» (1874), «лестница древности». Для каждого слоя прежде всего выяснялось его место на какой-то из ступенек этой лестницы. Без этого уже не мыслилось ни прослеживание слоев, ни их картирование, ни какое-либо иное геологическое исследование.

Вся последовательность была поделена на интервалы, получившие названия периодов — ордовик, силур, пермь, юра и т. д. Эти большие части, в свою очередь, были поделены на более мелкие (эпохи), те — на еще более мелкие (века). Любые отрезки шкалы стали называть геохронологическим подразделением, а весь комплекс слоев, расположенных на данной ступеньке лестницы древности, принадлежащий к данному геохронологическому подразделению, — хроностратиграфическим, или просто стратиграфическим подразделением.

Но... «по мере того как геология продвигалась вперед, не раз оказывалось, что та или иная ископаемая порода (окаменелости. — Ю. С.), которую долгое время считали характерной для какой-нибудь одной формации (стратиграфического подразделения. — Ю. С.), была

открываема и в других формациях»<sup>11</sup>. Было открываемо и такое: если в одном разрезе окаменелость а в вышележащих слоях сменялась окаменелостью б, то в другом месте обе они обнаруживались в одном и том же слое, или сменяли друг друга в обратном порядке. Аналогичное открытие в сфере литологических признаков в свое время привело к опровержению Вернера. Однако опровержение Смита не последовало.

Вместо этого был поставлен вопрос: если использование всего исходного фактического материала не гарантирует однозначности и непротиворечивости построенной, то как отобрать ту часть, которая приведет к удовлетворительному результату?

Стратиграфические подразделения — луковичные лепестки — и геохронологическая шкала используются и поныне. Это означает, что ответ на данный вопрос был найден.

## ПОСТЕПЕННОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ К ДЕЙСТВИТЕЛЬНОСТИ

Автора луковичной модели обвиняли в том, что он не заметил (проигнорировал, не сумел предвидеть и т. д.) разломов, размывов и других проявлений многогранной геологической деятельности, в том, что его модель слишком проста, наивна, поспешна, что она опровергается даже в горах поблизости от кафедры Вернера, куда саксонский профессор, не большой любитель путешествовать, по-видимому, так и не добрался.

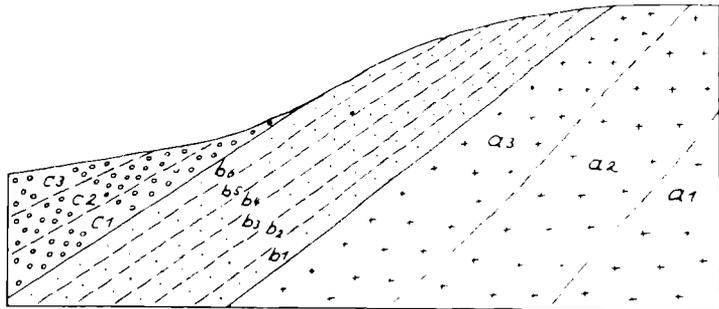
Но с тем же успехом можно обвинять и Ньютона, не заметившего (проигнорировавшего, не сумевшего предвидеть и т. д.) трения, сопротивления среды, магнетизма, электричества и всех других граней физической действительности при формулировке закона инерции. Модель, описывающая поведение теоретических объектов, вовсе не предназначена для того, чтобы отражать все черты реальной действительности. Она и обязана быть простейшей (если угодно, наивной, примитивной). От нее требуется лишь, чтобы она позволяла охватывать все многообразие природных форм при своих дальнейших усложнениях и дополнениях, для которых она должна играть роль надежного фундамента.

Да, порфир, названный Вернером первичным, пересекает пласты каменноугольной формации; да, гранит Гарцских

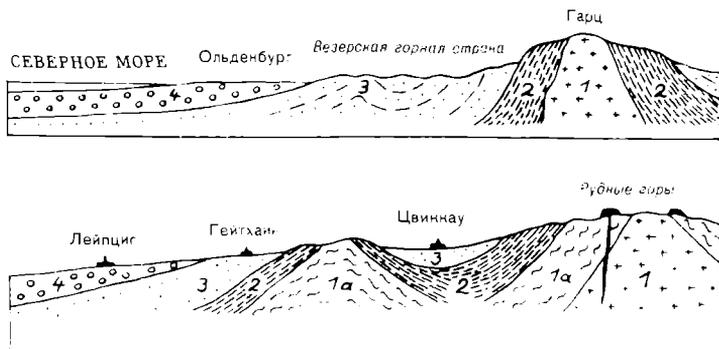
<sup>11</sup> Спенсер Г. Цит. соч., с. 295.

гор прорывает другие залежи; да, эти факты не укладываются в модель луковичных лепестков. Все это так же справедливо, как и то, что замедление движения тела в сопротивляющейся среде не укладывается в галилеевско-ньютоновский закон инерции. Но закон инерции, пополненный понятием о сопротивлении среды, позволяет полностью описать движения любых реальных тел в любых реальных средах. Более того, лишь принятие закона инерции как исходного и позволяет ввести само понятие сопротивления. В динамике Аристотеля

Так авторы памятного издания по случаю 150-летия со дня смерти А. Г. Вернера иллюстрируют вернеровский подход к выделению основных формаций горных пород и их расчленению на более мелкие пачки слоев. Примерно так же современные геологи делают свиты на подсвиты и пачки, формации — на подформации и т. д.



Схематический геологический профиль — из того же издания — через Северную и Среднюю Германию, где работал А. Г. Вернер. Толщи горных пород выделены в соответствии с установленной им классификацией: 1 — гранит, 1а — прочие первозданные породы, 2 — переходные породы (нижний палеозой), 3 — «флещевые породы» [красный лежень, чехштейн, мезозой], 4 — намывные породы [третичные и четвертичные].



оно не имело никакого смысла. Только закон инерции позволяет определить понятие силы как всего того, что отклоняет движение тела от равномерного и прямолинейного.

Вернеровская теория строения Земли неотличима в этом смысле от механики. Любые отклонения поведения слоев от требований луковичной модели определяются как несогласия. Если замеченные Лайелем явления и не соответствовали исходной модели, то они вписывались в модель, пополненную понятием несогласий. Более

того, несогласия в геологии могли быть введены только как отклонения от исходной модели. Ведь для определения отклонения, аномалии надо сначала определить понятия нормы, эталона: если отклонение — то от чего, если аномалия — то по сравнению с чем?

И хотя роль вернеровской модели в геологии аналогична роли закона инерции в физике, судьба этих двух фундаментальных положений оказалась резко неодинаковой. Если закон инерции был оценен по достоинству, то модель Вернера была подвергну-

та жестокой и несправедливой критике, хотя (парадоксально!) в качестве основы геологии она использовалась и противниками Вернера, и его сторонниками, и геологами, не подозревавшими даже о ее существовании. С легкой руки Лайеля любое пополнение и усложнение луковичной модели преподносилось как ее опровержение. Когда же факты противоречили образу Вернера, непонявшего очередное «что-то такое», от них, так сказать, абстрагировались. Ни один из критиков не упоминает, что первое определение несогласий и их первая классификация (превосходящая, кстати, по уровню строгости большинство современных), принадлежит именно Вернеру.

Наверно, ошибался и Вернер. Но ос-

\* А. Г. Werner. Gedenkschrift aus Anlass der Wiederkehr seines Todestages nach 150 Jahren am 30 Juni 1967. Leipzig, 1967.

новой всей геологии является геологическая карта, а настоящая геологическая карта — это карта, показывающая распределение в пространстве стратиграфических подразделений; стратиграфические же подразделения — это лепестки луковичной модели. И, видимо, давно пора знать не только об ошибках Вернера. Справедливость восторжествует, если вместе с Галилеем, Ньютоном, Дарвином в школе будут проходить и Вернера.

### ОТ НАБЛЮДЕНИЙ — К МОДЕЛИ. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА

Попробуем сформулировать процедуру построения луковичной модели, отвечающую всем современным требованиям. Для этого потребуются уточнить все используемые понятия, представить в явном виде без пропусков и логических кругов последовательность логического вывода. Постараемся свести к минимуму количество понятий в системе, число отдельных шагов в логическом выводе и исходных посылок. Будем стремиться к максимальной простоте построения.

Предложенная здесь система понятий и операций отличается от принятой другими специалистами. Практически все стратиграфические понятия, проанализированные нами при составлении терминологического справочника<sup>12</sup>, неконструктивны. Их определения не содержат формулировки математически однозначной процедуры построения определяемого понятия по данным наблюдений. Не фиксировано и множество наблюдений, служащих эмпирическим фундаментом для построения теоретической системы.

Кроме логико-математического совершенствования теории стратиграфии и геологии в целом, повышение уровня строгости определяемых понятий имеет и важное практическое значение. Любая однозначная последовательность действий (а именно такова предлагаемая последовательность определений) может быть реализована на ЭВМ. Автоматическое построение геохронологических шкал, стратиграфических подразделений, проведение их границ на конкретной изучаемой местности делает технологией процедуру, требую-

щую от геологов в настоящее время огромных затрат творческих усилий. Последовательность построения вернеровской модели реализована в виде алгоритма и программы. По разработанным программам проведено автоматическое сопоставление неогеновых разрезов Усть-Камчатского района, а также разрезов других районов Камчатки, Сахалина и Чукотки.

Фиксируем прежде всего исходные понятия, которые в данной системе не определяются через другие. Ими будут «разрез» и «признак».

Разрез — вертикальная прямая, направленная снизу вверх. Ближе всего отвечает такому представлению вертикальная буровая скважина.

Признаком И. Н. Ньюберг предложила считать все то, о чем можно сказать, присутствует ли оно в данном месте или нет. Не будем отдавать предпочтения никаким из признаков. Но ведь палеонтологические признаки, как это всегда о них говорят, лучше сами по себе? Что ж, пусть это выяснится в честном соревновании. Введем в обработку на равных правах литологические и любые другие признаки. Не будем забывать урока — горные породы и окаменелости использовались для одних и тех же целей и обнаружили одни и те же недостатки.

Оба понятия — разрез и признак — прямо или опосредованно определяются **какими-то** операциями наблюдения или измерения.

Единственным исходным фактическим материалом пусть будут наблюдаемые данные о распределении в конкретных разрезах точек, обладающих изученными признаками.

Введем понятия о стратиграфических отношениях.

Обозначим буквами А и В какие-либо признаки (например, А — песчаник, В — двустворка *Nuculana tumiensis*). Тогда буквами а и b будем обозначать точки, где фиксированы эти признаки (а — точка, горная порода в которой представлена песчаником, b — точка, в которой найдена двустворка *Nuculana tumiensis*).

Если есть хотя бы один разрез, в котором фиксированы и точки а, и точки b, то между признаками А и В существуют стратиграфические отношения. Если ни одного такого разреза нет (т. е. точки а и b встречены только в разных разрезах), то между признаками А и В нет стратиграфических отношений.

Если во всех разрезах, где есть точки а и точки b, все а выше любой точки b,

<sup>12</sup> Общая стратиграфия (терминологический справочник). Под ред. Ю. А. Косыгина, Ю. С. Салина, Р. Ф. Черкасова. Хабаровск, 1979.

то признак А выше В, В ниже А. Назовем такие признаки стратифицирующими друг относительно друга. По-видимому, такие же (но только палеонтологические) признаки немецкий зоолог и палеонтолог Г. Бронн в прошлом веке называл отличительными. Если хотя бы в одном из разрезов есть и а выше b, и b выше а или есть хотя бы одна пара точек, занимающих одно и то же положение (например, двусторонка *Nuculana tumiensis* в песчанике), то признаки А и В — нестратифицирующие друг относительно друга. Среди отношений, существующих между нестратифицирующими признаками, можно было бы выделить привычные отношения совпадения, переслаивания, включения, пересечения, но для наших целей это не нужно, а так как привычного термина для обозначения обобщающего понятия, охватывающего все эти отношения, нет, приходится изобретать новый — «быть нестратифицирующими».

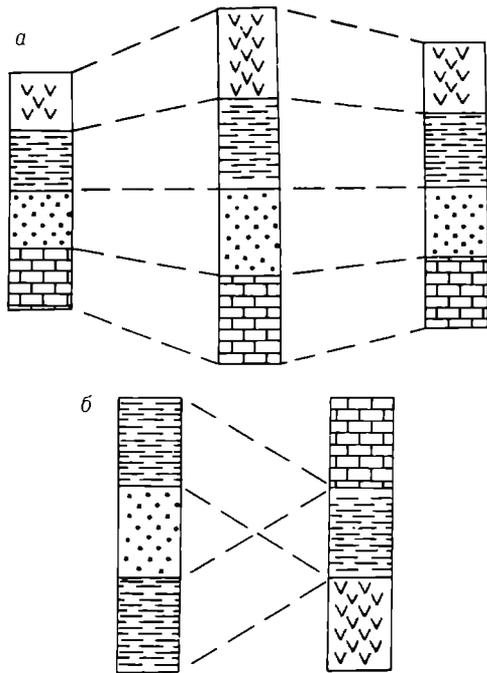
Следующим шагом в логическом выводе будет определение понятия «стратифицирующая последовательность». Это такая последовательность признаков, в которой каждый признак выше непосредственно предыдущего и не имеет иных стратиграфических отношений ни с одним из других предыдущих. Иными словами, ему запрещается быть «ниже» других предыдущих и «быть нестратифицирующим», разрешается быть «выше» или «не иметь отношений».

Возможно, определение покажется замысловатым, вычурным. Зато в построенную таким образом стратифицирующую последовательность можно однозначно и непротиворечиво ввести отношения возрастной последовательности и эквивалентности на основе законов Стено и Вернера — Смита. Например, в последовательности ABCDEF точку, обладающую признаком С, можно считать одновозрастной любой другой точке с признаком С, более молодой, чем все точки с признаками А и В, и более древней, чем точки с признаками D, E, F.

Но вот что плохо. По одному и тому же исходному материалу может быть построено много стратифицирующих последовательностей (по разным признакам), и результаты, полученные с помощью одной из них, будут противоречить результатам по другой. Часто приходится говорить: данные слои по моллюскам сопоставимы с миоценовыми толщами, а по фораминиферам — с олигоценowymi. Миоценовые толщи выше и моложе олигоценowych. Необходимо выбрать среди всех последовательностей одну, наилучшую, и возрастные от-

ношения, установленные по ней, считать эталонными, истинными по определению, не подлежащими проверке никакими другими методами.

Ясно, что стратифицирующая последовательность как инструмент для прослеживания и картирования слоев будет наилучшей тогда, когда она позволяет выделить в исследуемом пространстве наибольшее количество стратиграфических подразделений и прослеживать их на наибольшие расстояния. Следовательно, среди всех последовательностей, которые можно по-



**Модельные примеры стратиграфической корреляции.** Рисунок а иллюстрирует отсутствие противоречий в определении одновозрастности слоев по сходству литологических признаков. В случае, изображенном на рисунке б, невозможно однозначное и непротиворечивое определение одновозрастности слоев по сходству литологических признаков.

строить по данному фактическому материалу, предстоит выбирать наилучшую именно по этим показателям.

Трудность выбора заключается в том, что для оценки оптимальности имеются одновременно два критерия. Хорошо, конечно, если последовательность будет наилучшей по обоим критериям сразу, а как быть, если одна из последовательностей обеспечивает выделение наибольшего количества подразделений, а другая — прос-

леживание на наибольшие расстояния? Необходимо найти один показатель, который отражал бы одновременно и качество выделения, и качество прослеживания.

Допустим, мы оцениваем какую-то последовательность, состоящую из восьми членов. Первый, самый нижний ее признак встречен в пяти разрезах. Будем говорить, что его частота равна 5. Он позволяет отождествить по возрасту, синхронизировать друг с другом слои этих пяти разрезов. Вышележащий, второй признак имеет частоту 4, третий — 9 и т. д. Подсчитаем сумму частот данной последовательности.

Пусть имеется и другая последовательность, отличающаяся от данной наличием двух дополнительных признаков. Она обеспечивает выделение десяти разных стратиграфических подразделений в том же объеме исследованного пространства вместо прежних восьми. Количество подразделений увеличилось. Одновременно увеличилась и сумма частот на то количество, которое принесли с собой два дополнительных признака. Если же другая последовательность отличается от данной нехваткой каких-то членов, это приведет к уменьшению количества подразделений. Уменьшится и сумма частот.

Далее. Пусть есть еще одна последовательность с тем же количеством членов. Но некоторые из них распространены в большем количестве разрезов. Например, первый не в пяти, а в семи, второй — в восьми, третий — в тринадцати разрезах и т. д. Такая последовательность позволяет проследить выделенные подразделения на большие расстояния. Одновременно увеличивается сумма частот. Если же признаки распространены в меньшем количестве разрезов, это ухудшит качество нашего инструмента для прослеживания и уменьшит сумму частот.

Ясно, что сумма и есть тот показатель, который мы ищем. Среди всех последовательностей, которые можно построить по данному материалу, будем выбирать имеющую наибольшую сумму частот. Именно ее и будем называть геохронологической шкалой. Члены шкалы, которые являются наилучшими среди всех признаков, назовем в соответствии с традицией руководящими признаками.

Процедура построения шкалы не меняется в зависимости от размера исследуемой территории — шкала для небольшого нефтеразведочного участка строится так же, как и планетарная. Для небольших участков руководящими признаками

чаще будут характерные разновидности горных пород. При расширении изучаемой территории они перестают удовлетворять предъявленным требованиям и постепенно вытесняются из игры. Геохронологические шкалы больших регионов, континентов, планеты в целом строятся только из палеонтологических признаков — видов и родов ископаемых организмов.

Шкала позволяет сравнивать друг с другом все остальные признаки. Если признак  $K$  выше 2-го и ниже 4-го члена шкалы, он эквивалентен по возрасту 3-му члену. Если два признака эквивалентны одному и тому же члену шкалы, они эквивалентны между собой. Если признак  $K$  выше 2-го и ниже 8-го членов, он эквивалентен нерасчлененным подразделениям шкалы от 3-го до 7-го. Обозначим его возрастной диапазон [3, 7]. Если в каком-то слое встречены два признака с диапазонами [3, 7] и [7, 11], то его возраст устанавливается как область пересечения возрастных диапазонов всех фиксированных здесь признаков, в данном случае [7]. Таким же образом устанавливается возраст, т. е. положение в геохронологической шкале, всех изученных слоев всех разломов.

Область пересечения возрастных диапазонов всех признаков, установленных в какой-либо точке, будем для краткости называть возрастным диапазоном этой точки. Если возрастной диапазон точки определяется только одним руководящим признаком, назовем ее маркирующей.

Теперь можно определить и стратиграфическое подразделение — «луковичный лепесток» вернеровской модели: односвязная (т. е. непрерывная и без дыр) область пространства, все маркирующие точки которой имеют один и тот же возрастной диапазон. В стратиграфическом подразделении не должно быть точек, в возрастной диапазон которых не попадал бы данный руководящий признак.

Последний шаг в логическом выводе: согласный комплекс — односвязная область пространства, заполненная стратиграфическими подразделениями, каждое из которых соприкасается только с двумя другими подразделениями — вышележащим (по геохронологической шкале непосредственно более молодым) и нижележащим (непосредственно более древним).

В согласном комплексе нетрудно узнать модель Вернера. Выполнены все требования — непрерывности, одинакового порядка, отсутствия конечности в «боковом» направлении в пределах любого заданного участка.

## УСЛОЖНЕНИЕ МОДЕЛИ. ФАЦИИ. НЕСОГЛАСИЯ

Бурный прогресс геологии в начале прошлого века, вызванный использованием для картирования такого эффективного инструмента как геохронологическая шкала, принес огромное количество выводов о поведении конкретных слоев в пределах данного стратиграфического подразделения. И снова заговорили об ошибках, недальновидности Вернера, о примитивности его схем

Но давайте разберемся. Даже если Вернер в самом деле не сумел предвидеть фациальных замещений, его теоретическая конструкция, построенная на неполных, недостаточно разнообразных исходных данных, снова осталась без изменений, только роль луковичных лепестков, непрерывно протягивающихся через весь земной шар, вместо слоев стали играть стратиграфические подразделения.

Самое же интересное вот в чем. Если понятия фаций действительно нет в исходной луковичной модели, то Вернер сам ввел его в качестве одного из усложнений и дополнений. Только терминология его отличалась от принятой ныне. Саксонский профессор говорил не о фациях, а о пространенных по земному шару горных массах, образовавшихся не «беспрерывно» (fortdauernd), а «поодиночке» (einzeln)<sup>13</sup>.

Еще проще вводится другое дополнение модели — понятие несогласия. Согласное отношение, или согласие, можно определить как соприкосновение данного стратиграфического подразделения только с вышележащим (по геохронологической шкале — непосредственно более молодым) и нижележащим (по геохронологической шкале — непосредственно более древним). Тогда соприкосновение с чем угодно иным — несогласное отношение, или несогласие.

Нетрудно видеть, что при таком определении любое стратиграфическое подразделение имеет согласное ограничение только снизу и сверху, сбоку же, по латерали, никаких согласных ограничений не предусмотрено, что равносильно утверждению о бесконечности (вернее, об отсутствии латеральной конечности) стратиграфических подразделений **самых по себе** в пределах любого участка. Фактическая конечность обеспечивается только несогласными, **не собственными** границами — разломами,

размывами, срезаниями стратиграфического подразделения поверхностью современного или древнего рельефа, магматическими интрузивными и жильными телами. Интересно, что в несогласные границы попадут и границы изучаемой территории, также обрезающие стратиграфические подразделения, другими словами, попадает все, что геолог обычно называет вторичными границами (в противоположность первичным — согласным). Взгляд на любую геологическую карту тотчас убедит, что латеральная конечность обеспечивается только несогласными границами.

Дальнейший путь детализации модели — классификация несогласий по типам взаимоотношений пластов по разные стороны поверхности несогласия. Первый шаг классификации — разделение размывов и разломов, или стратиграфических и тектонических несогласий, следующий — выделение подклассов внутри каждого из этих классов. Уже одно это представляет собой обширную область геологических исследований, охватывающую значительную часть тектоники и структурной геологии.

На модели Вернера строится и стратиграфия — наука о геологическом времени и сопоставлении разрезов<sup>14</sup>. Конечный результат стратиграфии — «луковичная» модель, пополненная понятиями фаций и несогласий, используется в качестве исходного материала другой крупной отраслью геологии — картированием. На данных, предоставляемых стратиграфией и геологическим картированием, строятся палеогеография, историческая геология. В стратиграфических понятиях и схемах нуждаются все геологические дисциплины, оперирующие геохронологическими характеристиками. И наконец, финальной частью любого исследования можно считать поиски полезных ископаемых, где необходимы данные и стратиграфии, и тектоники, и геологического картирования, и палеогеографии, и исторической геологии.

<sup>14</sup> Методология геологических исследований. Хабаровск, 1979.

<sup>13</sup> Севастьянов А. Ф. Цит. соч., с. 149.

## Эволюционная логика дифференциации полов и долголетие

В. А. Геодакян



Виген Артаваздович Геодакян, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института биологии развития им. Н. К. Кольцова АН СССР. Занимается теоретическими проблемами общей биологии, эволюционной и популяционной генетики пола.

Самовоспроизведение составляет главную особенность, отличающую живые системы от неживых. Оно характерно для всех уровней организации жизни: от молекул до популяций. Особым богатством форм отличается размножение как одна из форм самовоспроизведения организмов: от простого деления клеток у бактерий и других одноклеточных до чрезвычайно разнообразных и сложных способов полового размножения у высших растений и животных.

Первым важным событием в эволюции размножения было появление процесса скрещивания, вторым — возникновение половой дифференциации. В зависимости от наличия или отсутствия этих фундаментальных признаков в существующем многообразии способов размножения можно выделить три основных типа: бесполой, гермафродитный и раздельнополый (табл. 1)

При бесполом размножении изменчивость, необходимая для естественного отбора, достигается только благодаря мутациям. С возникновением скрещивания появился новый, практически неисчерпаемый источник разнообразия — комбинаторный потенциал популяции. В эволюции жизни это был исключительно важный шаг, и эволюционные преимущества, связанные с

ним, очевидны и в основном понятны. Хотя признанные авторитеты в этой области, например Дж. Уильямс и Дж. Мэйнард Смит, считают, что эволюционное происхождение и селективные преимущества полового размножения по-прежнему остаются одной из главных нерешенных проблем биологии<sup>1</sup>. Дело в том, что все преимущества полового размножения, такие как обеспечение генетического разнообразия и подавление вредных мутаций, а также возможность избежать инбридинга (близкородственного скрещивания), сводятся только к скрещиванию — комбинаторике, но не к дифференциации. Как известно, с появлением дифференциации полов комбинаторное богатство популяции уменьшается почти вдвое. Ведь при одинаковой численности популяции  $N$ , число возможных комбинаций родителей у гермафродитов

будет  $\frac{N(N-1)}{2} \approx \frac{N^2}{2}$ , в то время как у раздельнополых  $\frac{N}{2} \cdot \frac{N}{2} = \frac{N^2}{4}$ .

Значит, дифференциация полов при-

<sup>1</sup> Williams G. C. Sex and Evolution. Princeton Univ. Press, 1975; Maynard Smith J., The Evolution of Sex. Cambridge Univ. Press, 1978.

**Таблица 1**  
**Основные типы размножения и некоторые их характеристики**

Тип размножения	Скрещивание	Дифференциация	Схема	Количество комбинаций для N особей
Бесполое	нет	нет		$1 \div N$
Гермафродитное	есть	нет		$\frac{N(N-1)}{2} \approx \frac{N^2}{2}$
Раздельнополое	есть	есть		$\frac{N}{2} \cdot \frac{N}{2} = \frac{N^2}{4}$

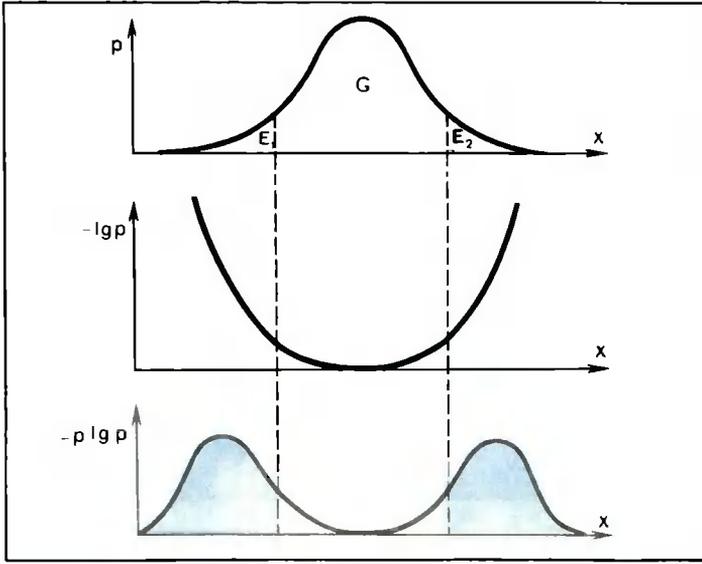
носит вред, а не пользу. Но тогда она не могла бы возникнуть и поддерживаться естественным отбором. Следовательно, дифференциация полов должна сопровождаться какими-то выгодами, которые пока остались неизвестными.

Существующие теории могли объяснить преимущества половых способов размножения перед бесполоыми, но не могли объяснить преимуществ раздельнополого способа размножения перед гермафродитным. Более того, в этом случае приходилось признать, что гермафродитный способ размножения эволюционно более прогрессивен, чем раздельнополый. Однако известно, что все прогрессивные формы животных (млекопитающие, птицы, насекомые и другие), раздельнополы. Среди растений также прослеживается общая эволюционная тенденция — более поздние формы дифференцированы по полу на более высоком уровне (двудомные растения).

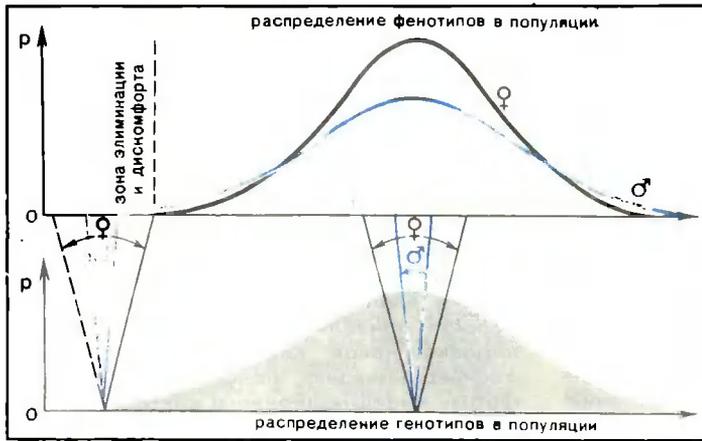
Классическая генетика обычно рассматривает только результаты скрещивания, но не дифференциации, которые проявляются главным образом как следствие специализации полов на уровне популяции. Поэтому явления, связанные с дифференциацией, с типом размножения (гермафродитизм, раздельнополость), со схемой скрещивания или структурой популяции (моно- или полигамия, панмиксия и др.), не находят своей трактовки в рамках генетики. Таковы, прежде всего, дифференциальная смертность полов, различные виды полового диморфизма по морфологическим, физиологическим, этологическим или психологическим признакам, реципрокные различия и др.

### ГЕНЕТИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ ПОЛОВ

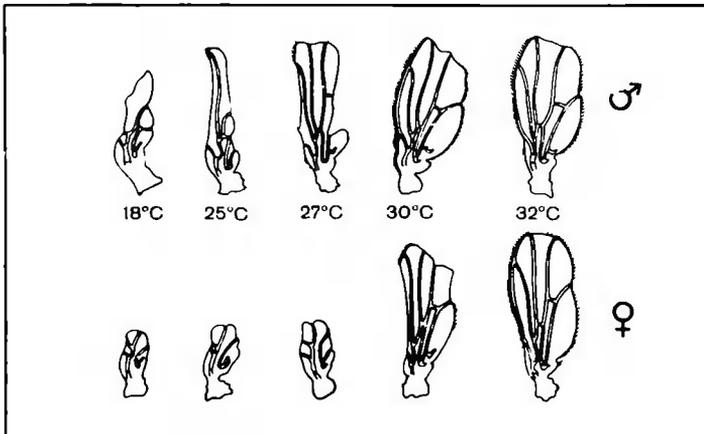
Поведение живых систем, как управляемых, подчиняется определенной логике. Выявление этой логики может помочь объяснить и предсказать их поведение и понять закономерности, определяющие его. В процессе эволюции раздельнополый способ размножения возникал неоднократно и независимо у очень далеких друг от друга форм жизни. По-видимому, в таком ходе событий можно обнаружить некую общебиологическую, эволюционную логику. Поиски эволюционной логики раздельности привели нас в 1965 г. к формулировке новой концепции, трактующей дифференциацию полов как выгодную форму информационного контакта со средой, как специализацию на популяционном уровне организации, по двум главным альтернативным аспектам эволюции: сохранения — генетический аспект (передача информации от поколения к поколению), и изменения — экологический аспект (получение информации от среды). При этом задачу сохранения генетической информации реализует больше женский пол, а изменения — мужской. Такой вывод основан на том, что любая адаптивная система, эволюционирующая в изменчивой среде, разделяясь на две сопряженные подсистемы, специализированные по консервативным и оперативным тенденциям эволюции, тем самым повышает эволюционную устойчивость системы в целом. Такой системный подход позволил вскрыть некоторые закономерности, лежащие в основе раздельнополого способа размноже-



Распределение фенотипов [p], их информативность [-lg p] и информативная эффективность [-p lg p] в популяции. X — обобщенный признак (или фенотип), P — вероятность его нахождения в популяции (или концентрация), G — «генетическая» часть популяции, E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> — «экологические» части. Из верхней кривой видно, что в популяции больше всего особей со средним значением признака. Кривая в центре показывает, что у самых редких вариантов информативность максимальна, а у нормы популяции — минимальна. Результирующая (нижняя) кривая учитывает как информативность фенотипов, так и их концентрацию.



Распределение мужских (цветная кривая) и женских фенотипов в популяции. Широкая норма реакции позволяет женским особям уходить из зон элиминации и дискомфорта. Следовательно, чем шире норма реакции (женский пол), тем уже фенотипическое распределение в популяции.



Изменение размера и формы крыла у самцов и самок дрозофилы в зависимости от температуры среды содержания. Этот пример, взятый из книги И. И. Шмальгаузена «Основы дарвинизма» [М., 1969 г.], показывает, что в онтогенезе из-за более широкой нормы реакции влияние среды на проявление признака у самок больше, чем у самцов, а влияние генотипа, наоборот, меньше.

ния, и сформулировать новые представления в этой области<sup>2</sup>.

Центральным положением нашей теории является вывод о большем фенотипическом разнообразии, или, иначе говоря, дисперсии, мужского пола по сравнению с женским. Большее разнообразие приводит к тому, что первыми жертвами любых экстремальных условий среды становятся мужские особи (получение экологической информации от среды). В то же время количество потомков, которое может оставить в свободно скрещивающейся (панмиктной) популяции мужская особь, несравненно больше того количества, которое может оставить женская особь (передача экологической информации потомству). Значит, экологическую информацию о происшедших в среде изменениях мужской пол получает и передает потомству эффективнее, лучше, чем женский пол. С другой стороны, участие мужских особей в размножении неравномерно: одни совсем не оставляют потомства, другие оставляют его очень много, в то время как участие женских особей более равномерно: потомство оставляют почти все, но ограниченное число. Это обусловлено тем, что «сечение» канала передачи генетической информации от мужской особи к потомству несравненно шире, чем от женской особи. А значит, генотипическое распределение в популяции женский пол передает репрезентативнее, т. е. разнообразие матерей всегда больше, чем отцов (ведь, в принципе, отцом всего поколения потомства может стать один самец).

Следовательно, генетический поток информации (от поколения к поколению) о распределении генотипов в популяции больше реализует женский пол, а экологический поток (от среды к потомству) — мужской.

Такая специализация полов локализует все пробы, а значит находки и ошибки, в мужской подсистеме, в то время как за женской подсистемой остаются задачи выбора и закрепления. Это дает возможность раздельнополой популяции пробовать различные решения эволюционных задач без риска закрепления неудачных решений.

## НОРМА РЕАКЦИИ ЖЕНСКОГО ПОЛА ШИРЕ, ЧЕМ МУЖСКОГО

Большая фенотипическая дисперсия мужского пола может определяться более высоким уровнем мутаций у мужских особей. Кроме того, это может быть связано с тем, что женские потомки наследуют родительские признаки более аддитивно (промежуточное, среднеарифметическое наследование), чем мужские. Наконец, более широкая фенотипическая дисперсия мужского пола может быть следствием более широкой наследственной нормы реакции женских особей<sup>3</sup>. Широкая норма реакции позволяет женскому полу легче приспособляться в онтогенезе. Такая адаптивность придает ему черты совершенства. Благодаря этому лучше сохраняется генотипическое распределение женского пола, что придает ему большую стабильность в филогенезе.

Наоборот, в результате узкой нормы реакции мужской пол менее пластичен, несовершенен в онтогенезе, сильнее выбраковывается и резко меняется его генотипическое распределение в популяции, и вследствие этого мужской пол более изменчив в филогенезе. Это приводит к тому, что эволюционные преобразования затрагивают прежде мужской пол, т. е. мужской пол, утрачивая совершенство, приобретает прогрессивные черты. Отсюда, учитывая известную необратимость эволюционных процессов, можно рассматривать мужской пол как эволюционный «авангард» популяции, а половой диморфизм (т. е. различие полов) по признаку, как «компас», указывающий направление эволюции этого признака (филогенетическое правило полового диморфизма)<sup>4</sup>.

Приведенные рассуждения позволяют построить логическую цепочку явлений, приводящих от разной нормы реакции полов к популяционному половому диморфизму: чем шире норма реакции, тем больше онтогенетическая пластичность, тем меньше фенотипическая дисперсия и тем меньше смертность; чем меньше смерт-

<sup>2</sup> Геодакян В. А. — Пробл. передачи информации, 1965, т. 1, № 1, с. 105; Геодакян В. А. — Пробл. кибернетики, 1972, вып. 25, с. 81.

<sup>3</sup> Норма реакции — способность генотипа формировать в онтогенезе, в зависимости от условий среды, разные фенотипы. Она характеризует долю участия среды в реализации признака. Чем шире норма реакции, тем больше влияние среды и тем меньше влияние генотипа в онтогенезе.

<sup>4</sup> Геодакян В. А., Смирнов Н. Н. — Пробл. эволюции, 1968, т. 1, с. 30; Геодакян В. А., Шерман А. Л. — Ж. общ. биол., 1971, т. 32, № 4, с. 417.

ность, тем лучше сохраняется генотипическая дисперсия и тем меньше филогенетическая пластичность, что и приводит к возникновению полового диморфизма. Конечно, не все звенья приведенной цепи доступны и удобны для экспериментальной проверки. Например, более широкую фенотипическую дисперсию мужского пола, по сравнению с женским, довольно трудно проверить; легче сравнить смертность полов или сопоставить половой диморфизм с направлением эволюции признака.

Прекрасную возможность для проверки теории представляет гипотеза более широкой нормы реакции женского пола по сравнению с мужским, которая позволяет делать довольно четкие предсказания. Согласно этой гипотезе, доля «генотипической» компоненты в фенотипе у особей мужского пола должна быть больше, а «средовой» — меньше, чем у особей женского пола. Значит, однояйцевые близнецы мужского пола, имеющие одинаковый генотип, должны быть больше похожи, чем близнецы женского пола, в то время как у двуйцевых близнецов с разным генотипом все должно быть наоборот: более похожи сестры, чем братья. Исследования внутрипарных различий у 23 пар мужских и 21 пары женских однояйцевых близнецов по антропологическим, сердечно-сосудистым, гематологическим, биохимическим, психологическим признакам показали, что по 185 переменным внутрипарный разброс оказался больше у женских пар, по 41 — у мужских, а по 353 переменным значимой разницы не было<sup>5</sup>. Аналогичные результаты были получены недавно также советскими и чешскими антропологами.

Согласно нашей теории, основные характеристики раздельнополой популяции (половой диморфизм, соотношение и дисперсия полов) не постоянные величины, характерные для вида, как полагали раньше, а зависят от условий среды и сами, в свою очередь, определяют эволюционную пластичность популяции. В изменчивых и экстремальных условиях, когда требуется высокая пластичность, должна повышаться смертность и доля появления мужских особей в потомстве, повышаться генотипическая дисперсия и становиться четче половой диморфизм потомства. В стабильных и оптимальных условиях должно происходить обратное. Стабильность и изменчивость — самые важ-

ные характеристики среды. От стабильной среды никакой экологической информации не поступает, экологическая информация — всегда об изменениях среды<sup>6</sup>. Положение о более широкой норме реакции женского пола позволяет объяснить многие непонятные особенности полов, в том числе и психологические. Но прежде всего оно объясняет их разную смертность.

#### ПОВЫШЕННАЯ СМЕРТНОСТЬ МУЖСКОГО ПОЛА ВЫГОДНА ДЛЯ ПОПУЛЯЦИИ

Из 163 стран мира, по которым есть данные<sup>7</sup>, в 152 женщины живут в среднем дольше мужчин. В 5 странах (Бангладеш, Индия, Индонезия, Турция и Танзания) — нет разницы. И только в 6 странах живут дольше мужчины: в Пакистане на 4,9 года, в Либерии — 1,8, в Верхней Вольте — 1,0, в Иордании — 0,6, в Нигерии — 0,5, в Папуа — Новой Гвинее — 0,1. Обратим внимание на то, что все это развивающиеся страны, и для большинства из них приводятся устаревшие данные. По миру в целом средняя продолжительность жизни женщин (59,3) на 3,6 года больше, чем у мужчин (55,7). Эта разница особенно велика для развитых стран: в СССР — 10 лет, в Финляндии — 9,1, во Франции — 8,0, в США — 7,8, в Великобритании, Чехословакии, Австрии, Канаде — больше 7 и т. д. Более высокая смертность мужчин наблюдается почти по всем болезням, за немногими исключениями (коклюш, некоторые гонококковые инфекции и др.)<sup>8</sup>.

Повышенную смертность мужского пола пытались объяснить социальными причинами, такими как алкоголизм, курение, опасные профессии, рискованное поведение и др. Но оказалось, что аналогичная картина смертности наблюдается и у большинства животных. Так, показано, что из 70 самых различных видов животных, включая нематод, моллюсков, ракообразных, насекомых, паукообразных, птиц, рептилий, рыб, млекопитающих, у 62 видов самцы в среднем живут меньше, чем самки; для большинства остальных нет разницы, и лишь в отдельных случаях дольше живут самцы<sup>9</sup>.

<sup>6</sup> Геодакян В. А. — Пробл. кибернетики, 1965, вып. 13, с. 187.

<sup>7</sup> Брук С. И. Население мира. М., 1981, с. 47.

<sup>8</sup> Штерн К. Основы генетики человека. М., 1965, с. 389.

<sup>9</sup> Hamilton J. B. — Rec. Progr. in Hormon Res., 1948, v. 3, № 9, p. 17.

<sup>5</sup> Wandenberg S. G., McKusick A. B., McKusick V. A. — Nature, 1962, v. 194, № 4827, p. 505.

Кроме того, повышенную смертность мужского пола связывали с гетерогаметной конституцией — отсутствием второй X-хромосомы в его хромосомном наборе (теория дисбаланса генов, или хромосом). Действительно, для того чтобы ущербный рецессивный ген проявился у гетерогаметной (XY) особи, ей достаточно получить его только от одного родителя, тогда как гомогаметная (XX) особь должна получить его от обоих родителей. Но есть виды (птицы, бабочки, ручейники, моль, некоторые рыбы и др.) с обратной картиной гаметности: самцы — XX, самки — XY. Согласно теории дисбаланса, у них средняя продолжительность жизни самцов должна быть больше, чем самок. Но факты не подтверждают этого. У кур, фазана, 12 видов бабочек, яблонной плодовой и др. самцы также живут меньше. Анализируя большой фактический материал, Дж. Макартур и У. Бейли приходят к выводу, что гетерогаметная конституция понижает жизнеспособность, но ее нельзя рассматривать как единственную или основную причину разной смертности полов<sup>10</sup>. И поскольку и у гетерогаметных, и у гомогаметных самцов, как правило, уровень основного метаболизма выше, чем у самок, то авторы приходят к выводу, что более приемлема метаболическая теория, объясняющая высокую смертность мужского пола его высоким уровнем метаболизма. Однако когда у самцов мух рентгеновским облучением повреждали Y-хромосому («мужскую» хромосому), то это привело к удлинению их жизни до уровня самок. Конечно, есть тесная связь между уровнем метаболизма и смертностью, например, между частотой сердечных ударов и длительностью жизни — это естественно. Но от подмены одного непонятого явления — высокой смертности — другим — высоким уровнем метаболизма — вопрос не становится яснее. Эти теории не объясняют эволюционной целесообразности явления. Почему, несмотря на огромное разнообразие видов, смертность (или метаболизм) всегда выше у мужского пола? Вряд ли это случайно. Можно сказать, что повышенный метаболизм — это способ, обеспечивающий мужскому полу более высокую смертность. А какова «цель» или эволюционный смысл этого явления?

Обычно на вопрос «почему самки живут дольше самцов?» биологи отвечают:

«Потому что матери нужнее потомству, чем отцы». Правильно. Групповой естественный отбор мог привести к удлинению жизни более заботливого родителя. Но у одних видов заботливые матери, у других — отцы, у третьих — вообще не принято заботиться о потомстве. Не говоря уже о растениях, у которых не может быть и речи о заботе о потомстве. Однако пониженная жизнеспособность мужского пола отмечается также и у двудомных растений<sup>11</sup>. Кроме того, она наблюдается на всех уровнях организации (организм, орган, ткань, клетка) и возникает от всех вредных факторов среды (низких и высоких температур, голода, ядов, паразитов, болезней и др.). Повышенная смертность мужского пола, как правило, характерна для всех возрастов: от зачатия до самой смерти.

Следовательно, повышенная смертность мужского пола — явление универсальное, общеприродное, но существующие теории не в состоянии удовлетворительно объяснить его.

Наша концепция рассматривает повышенную смертность мужского пола как выгодную для популяции форму информационного контакта со средой, как «плату» за новую экологическую информацию о происшедших изменениях в среде. В отличие от существующих взглядов на повышенную смертность мужского пола как на пассивное следствие (хромосомной конституции или метаболизма) предлагается рассматривать ее как активное средство, повышающее эволюционную устойчивость популяции.

Главным передатчиком экологической информации у животных выступает стресс, который возникает в ответ на такие изменения среды, к которым животное не может адаптироваться. Следовательно, дифференциальная смертность полов связана с изменчивостью среды через стресс. Обладающие широкой нормой реакции (адаптивностью) женские особи выживают в условиях дискомфорта, а мужские — гибнут. Кстати, этим объясняется повышенная подверженность мужского пола как «экологического» всем болезням «века» или «цивилизации», таким как инфаркт, рак, атеросклероз, шизофрения и др.

Аналогичная картина характерна и для растений. У перекрестноопыляющихся растений, как было показано автором, пе-

<sup>10</sup> McArthur J. W., Baillie W. H. T. — Quart. Rev. Biol., 1932, v. 7, № 3, p. 20.

<sup>11</sup> Светлов П. Г., Светлова М. Г. — Доклады АН СССР, 1950, т. 70, № 4, с. 741; № 5, с. 925.

Таблица 2

Консервативные и оперативные подсистемы на разных уровнях организации у млекопитающих и птиц

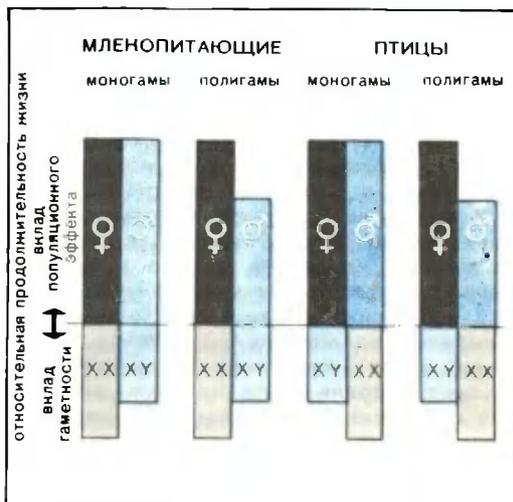
Уровень организации \ Тип гаметности	Г е т е р о г а м е т н о с т ь			
	М у ж с к а я		Ж е н с к а я	
Организменный				
Клеточный				
Хромосомный	X $\bar{Y}$	XX	XX	X $\bar{Y}$

редатчиком экологической информации выступает количество пыльцы, попадающее на женский цветок. В оптимальных условиях среды всегда попадает большое количество пыльцы, в экстремальных — мало<sup>12</sup>.

### ТИП ГАМЕТНОСТИ И ПОЛ

Конфликт между консервативной и оперативной тенденциями эволюции лежит в основе не только возникновения дифференциации полов, но вообще любой дифференциации. В связи с полом такой конфликт возникал по крайней мере дважды. Первый раз, когда существовала изогамия (наличие одинаковых гамет у обоих полов) на уровне клеток, возникли конфликтные требования к размерам гамет. Для того чтобы одна клетка легко могла найти другую, необходимы были подвижность и, следовательно, малые размеры (оперативная задача). В то же время, чтобы образовавшаяся зигота могла сохраниться, была обеспечена материальными и энергетическими ресурсами, защитными оболочками и др., ей нужны были большие размеры (консервативная задача). Таким образом, в ходе разрешения этого конфликта появились строго дифференцированные по размеру и подвижности гаметы — яйцеклетки и сперматозоиды (табл. 2).

Та же самая дилемма возникла при дифференциации по типу гаметности. В процессе эволюции, прежде чем «закре-



Диаграмма, показывающая эффект дифференциальной смертности полов, складывающийся из двух компонент. Первая — это вклад от специализации полов на уровне популяции, или, иначе говоря, популяционный эффект (верхняя часть рисунка), вторая — вклад типа гаметности (нижняя часть рисунка). Поскольку популяционный эффект возникает только в свободно скрещивающейся или полигамной популяции, то у моногамов он практически не проявляется. Для полигамов же характерна повышенная смертность мужских особей. Мужской пол и гетерогаметная конституция [XY] выполняет оперативную задачу, женский пол и гомогаметная конституция [XX] — консервативную. У некоторых видов направления этих дифференциаций не совпадают (например, у птиц). Таким образом, у полигамных видов с женской гетерогаметностью популяционный эффект направлен против эффекта гаметности, а у полигамов с мужской гетерогаметностью эти эффекты совпадают.

<sup>12</sup> Геодакян В. А.— Ж. общ. биол., 1978, т. 39, № 5, с. 743.

питься», рецессивные гены должны были пройти проверку существующими условиями. Такая проверка генов возможна только в гемизиготном (непарном) состоянии в гетерогаметном наборе хромосом (XY). Это оперативная тенденция, тогда как гетерозиготная комбинация генов в гомогаметном наборе (XX), при которой рецессивный ген не проявляется, реализует консервативную тенденцию. Понятие пола связано с первой дифференциацией, т. е. к мужскому полу мы относим особей, производящих мелкие подвижные гаметы, а к женскому — крупные. У большинства видов обе оперативные подсистемы (малые гаметы и конституция XY) оказались у мужского пола, а обе консервативные (крупные гаметы и конституция XX) — у женского. Это тип мужской гетерогаметности. Однако у некоторых видов направления этих дифференциаций не совпали. У женского пола оказались консервативные яйцеклетки в сочетании с оперативной гетерогаметностью, а у мужского — наоборот, сочетание оперативных сперматозоидов с консервативной гомогаметностью. Это тип женской гетерогаметности. Следовательно, первый тип последовательный, а второй — противоречивый. Этим, возможно, объясняется тот факт, что видов первого типа, как среди животных, так и растений, несравненно больше, чем второго, если считать, что выбор типа происходил чисто случайно, независимо от пола.

Стало быть, эффект дифференциальной смертности полов состоит из двух компонент. Первая — это вклад типа гаметности. Вторая — вклад от специализации полов на уровне популяции. Поскольку популяционный эффект возникает только в панмиктной или полигамной популяции и связан, видимо, со степенью полигамии, то при объяснении картины смертности необходимо учесть как тип гаметности, так и моно-

или полигамность вида. У моногамов популяционные эффекты сведены к минимуму (у строгих моногамов — к нулю), и повышенная смертность наблюдается у гетерогаметного пола. У полигамных видов с мужской гетерогаметностью на эффект от типа гаметности накладывается еще популяционный, усиливая его; этим объясняется отмеченная максимальная разница у таких видов. Для полигамных видов с женской гетерогаметностью популяционный эффект направлен против эффекта от гаметности: гетерогаметность приводит к сокращению жизни самок, а популяционный механизм — самцов. Поэтому можно ожидать, что разность в смертности у них будет менее выраженной, чем для полигамов с мужской гетерогаметностью при одинаковой степени полигамии. Следовательно, повышенная смертность самок должна наблюдаться у моногамных видов с женской гетерогаметностью (например, у птиц).

### ПОЧЕМУ РАНЬШЕ СТАРЕЮТ ЖЕНЩИНЫ, А УМИРАЮТ МУЖЧИНЫ?

В онтогенезе человека (млекопитающих) можно выделить 5 важных моментов: зачатие, рождение, появление репродуктивной функции, ее утрата, смерть. Они делят онтогенез на 4 стадии: утробного развития, роста, репродуктивную, пострепродуктивную. Сумма последних трех стадий составляет длительность жизни. Продолжительность жизни и разных ее стадий — видовые признаки, выработанные в процессе филогенеза. Они имеют важное адаптивное значение и регулируются групповым естественным отбором.

Если в общем потоке наследственной информации, передаваемом от поколения к поколению, выделить генетическую компоненту (все, что передается через гаметы)

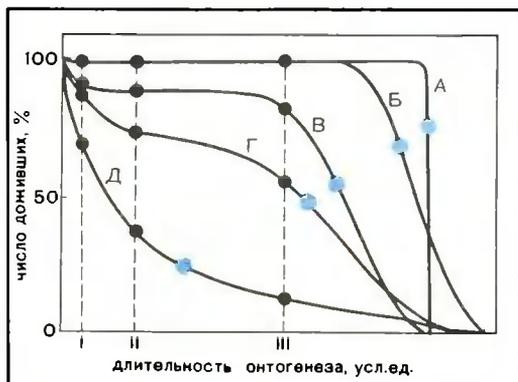
Таблица 3

Длительность жизни и периодов утробного развития, роста и развития у некоторых приматов [из кн.: Бунак В. В., Нестурх М. Ф., Рогинский Я. Я. Антропология. М., 1941]

Виды	Периоды			
	утробный, недели	роста, годы	репродуктивный, годы	жизни, годы
Лемуры	до 20	2—3	10—15	15—20
Обезьяны Старого Света	до 24	7	15—20	20—30
Человекообразные	33—39	8—12	20—30	30—40
Человек	40	20	45—60	70—80

и онтогенетическую (все, что организм получает в процессе онтогенеза — обучение, в широком смысле жизненный опыт, для человека — знания, наука, культура, технология и пр.), то можно увидеть неодинаковую роль разных стадий онтогенеза в получении, реализации и передаче этих компонент информации.

Генетическая компонента передается в репродуктивной стадии, воспринимается в момент зачатия и реализуется (видимо, с убывающей интенсивностью) в течение всего онтогенеза. Онтогенетическая компо-



Гипотетические кривые смертности популяций, определяемые в разной степени генотипом и средой. А — для клона в идеальной среде, Б — для гетерогенной популяции в идеальной среде, В — для клона в реальной среде, Г — для гетерогенной популяции в реальной среде, Д — смертность, определяемая только случаем. I — рождение, II — начало репродуктивного возраста, III — конец репродуктивного возраста, синие точки — средняя продолжительность жизни.

Очевидно, что кривые Б, В, Г, как все реальные случаи, встречающиеся в жизни, представляют собой промежуточные переходы между крайними типами А и Д, поэтому могут быть представлены как их суперпозиция. Следовательно, по мере «зависпации» популяции от среды, картина ее смертности будет приближаться к прямоугольному типу А и удаляться от экспоненциального типа Д, и наоборот. Другими словами, чем оптимальнее среда, тем картина смертности ближе к типу А, чем экстремальнее — тем ближе к типу Д.

нента связана с жизнью после рождения. Причем доля получаемой информации с возрастом падает, а отдаваемой — растет. Поскольку получение, реализация и передача информации требуют времени (скажем, для реализации зиготы в новорожденную мышь требуется 20 дней, а в слона — 660; на среднее образование уходит 10 лет, на высшее — 15), то увеличение объема этой информации в филогенезе, естественно, сопровождается удлинением

соответствующих стадий онтогенеза (табл. 3). В частности, этим можно объяснить известные корреляции продолжительности жизни: во-первых, с массой животного — крупные формы обычно живут дольше мелких; во-вторых, с показателем цефализации (отношение массы мозга к массе тела) — чем больше этот показатель, тем продолжительнее жизнь; в-третьих, с длительностью утробного развития, периода роста и репродуктивного периода — чем продолжительнее жизнь, тем длиннее эти периоды (например, период роста составляет примерно 20% от длительности жизни) и др.<sup>13</sup> Эти корреляции позволяют судить об эволюции длительности онтогенеза и его стадий. Например, то, что у человека максимальная среди млекопитающих продолжительность жизни, периодов роста и репродукции и максимальная среди млекопитающих сравнимой массы длительность утробной жизни, дает основание думать, что как продолжительность онтогенеза человека в целом, так и всех его стадий эволюционно удлинялись<sup>14</sup>.

Принципиально новую возможность для аналогичных суждений и исследований дает упомянутое выше правило полового диморфизма, связывающее популяционный половой диморфизм по признаку с эволюционной тенденцией изменения этого признака. Согласно этому правилу, если по какому-либо признаку существует популяционный половой диморфизм, т. е. если частота признака или (и) степень его выраженности разные у мужского и женского пола, то эволюционные преобразования этого признака имеют направление от женской формы к мужской. И наоборот, если известно направление эволюции признака, то можно предсказать наличие полового диморфизма по этому признаку. При этом женская форма должна иметь «катавистическую» направленность (старая, исчезающая форма), а мужская — «футуристическую» (новая, возникающая форма)<sup>15</sup>. Например, выпуклая форма спинки носа как по частоте, так и по степени выраженности в одной и той же популяции характерна для мужчин, а вогнутая — для женщин. Значит, направление эволюции — от вогнутой спинки к выпуклой.

Если сопоставить эволюционную тен-

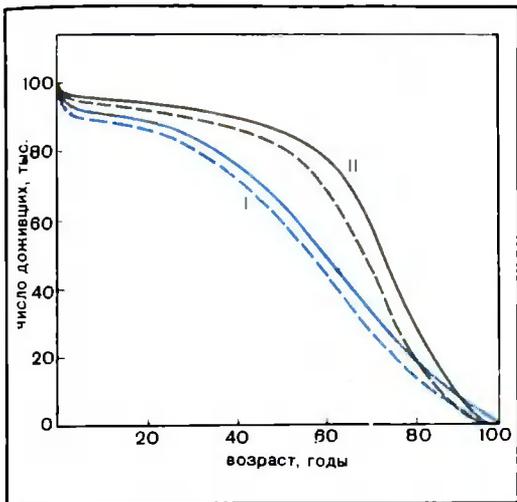
<sup>13</sup> Малиновский А. А. — В сб.: Пробл. долготел. М., 1962, с. 73.

<sup>14</sup> Геодакян В. А. — Доклады АН СССР, 1982, т. 263, № 6, с. 1475.

<sup>15</sup> Геодакян В. А. — Ж. общ. биол., 1981, т. 42, № 5, с. 657.

денцию к удлинению онтогенеза и всех его стадий у человека с правилом полового диморфизма, то можно прийти к выводу, что онтогенез как в целом, так и все его стадии должны иметь большую продолжительность для мужского пола, чем для женского.

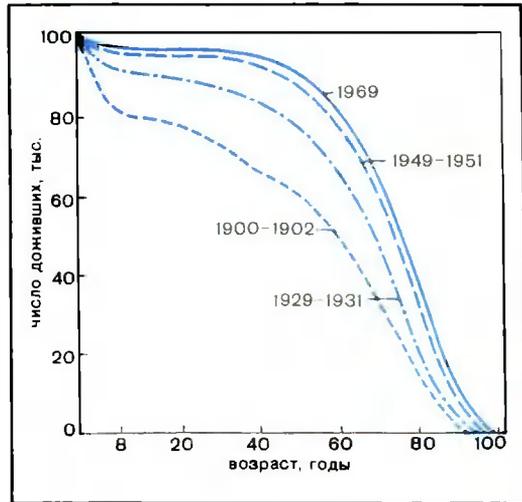
Удобно и достаточно рассматривать только длительности: утробного развития, роста, репродуктивного периода и всей жизни, исключив пострепродуктивный период и полный онтогенез, которые легко можно определить из первых.



Кривые продолжительности жизни для населения США. Слева — для белого населения (II кривая) и негров (I кривая) женского (сплошная кривая) и мужского (пунктир) пола. Справа — продолжительность жизни населения США в разные годы. Если сравнивать друг с другом в разной степени «эмансипированные» от среды группы: мужчины и женщины одной популяции, негров и белых в одной стране, одну и ту же страну в историческом плане, то видно, что характер кривой смертности закономерно меняется в указанном теорией направлении. Из книги: Комфорт А. Биология старения. М., 1967.

Средняя длительность внутриутробной жизни мальчиков больше, чем девочек. Несмотря на это, как показывают рентгенографические исследования костного возраста, девочки по этому критерию рождаются более зрелые, чем мальчики, на целых 3—4 недели<sup>16</sup>. Следовательно, можно считать, что половой диморфизм по степени развития к моменту рождения состав-

ляет примерно месяц. После рождения это опережение девочек в развитии прогрессирует: на 2—3 месяца раньше мальчиков они начинают ходить, на 4—6 месяцев раньше — говорить. И к моменту достижения половой зрелости эта разница составляет уже примерно 2 года, а к моменту остановки роста — даже 3 года. Интересно, что негритянские дети Западной и Восточной Африки и США в течение первых 2 лет жизни опережают своих белых сверстников по скелетной зрелости: они раньше начинают сидеть, ползать, постоянные зубы



у них прорезываются в среднем на год раньше<sup>17</sup>. Следующая стадия онтогенеза — репродуктивная — у женщин длится 35—45 лет (от 13 до 45—55 лет), а у мужчин — 45—55 лет (от 15 до 60—70 лет), т. е. половой диморфизм составляет уже минимум 10 лет<sup>18</sup>.

Итак, первые три стадии онтогенеза подтверждают вывод теории — они длиннее у мужского пола. Что же касается средней длительности жизни, то здесь, вопреки теории, как мы уже говорили, она длиннее у женского пола. Создается странная картина, когда развиваются, зреют и стареют раньше женщины, а умирают — мужчины. В чем же дело?

Продолжительность жизни, как и любой признак, определяется генотипом и средой. Представим себе следующие идеализированные ситуации. Например, устра-

<sup>16</sup> Колесов Д. В., Сельверова Н. Б. Физиолого-педагогические аспекты полового созревания. М., 1978.

<sup>17</sup> Харрисон Дж., Уайнер Дж., Барникот Н. Биология человека. М. 1968.

<sup>18</sup> Давыдовский И. В. Геронтология. М., 1966.

ним мысленно генотипическое разнообразие в популяции и неблагоприятные факторы среды (т. е. поместим клон генотипически идентичных особей в оптимальную среду, позволяющую реализоваться полностью единственному генотипу); тогда длительность жизни всех особей будет одинакова и кривая смертности будет иметь прямоугольную форму. Теперь вместо клона возьмем гетерогенную популяцию в оптимальной среде, позволяющей реализоваться полностью всем генотипам; тогда появится некий разброс в длительности жизни, обусловленный генотипическим разнообразием. Вновь вернемся к клону, но поместим его в реальную среду. Появится некий разброс длительности жизни, обусловленный только средой. Поместим генотипически гетерогенную популяцию в реальную среду, тогда суммарная дисперсия будет включать как генотипическую, так и средовую компоненты. Наконец, представим себе ситуацию, когда смертность определяется чисто стохастически, только случаем (т. е. средой). Тогда генотип не будет играть никакой роли в определении длительности жизни, и последняя не будет зависеть ни от возраста, ни от здоровья. В этом случае кривая смертности будет иметь экспоненциальную форму.

Чем больше эмансипирована группа от среды, тем ближе ее кривая смертности к прямоугольному типу и наоборот. Например, большая эмансипация женского пола по сравнению с мужским обусловлена его более широкой нормой реакции; белого населения США по сравнению с неграми, а также современной популяции по сравнению с прошлыми — социально-экономическими причинами (питание, медицинское обслуживание и т. д.).

Теперь посмотрим, как отражается на длительности онтогенеза и его стадий переход популяции из оптимальной среды к экстремальной. Если нанести значения средней длительности жизни и стадий онтогенеза на графики кривых смертности, то можно видеть, что характер смертности сильно влияет на среднюю продолжительность жизни и фактически не сказывается на средней длительности периодов утробного развития, роста и репродукции.

Следовательно, уменьшение средней продолжительности жизни в экстремальных условиях среды идет за счет средовой компоненты смертности, а не генотипической. Таким образом, применение правила полового диморфизма дает основание предположить, что генотипическая средняя длительность жизни мужчин должна быть боль-

ше, чем женщин. И если можно было бы полностью устранить влияние среды, то мужчины жили бы дольше женщин. Например, известно, что воробей, средняя длительность жизни которого на воле составляет 9 месяцев, в неволе (эмансипация от кошки и коршуна) может жить до 22 лет.

Становится понятно, почему, несмотря на то что средняя длительность жизни больше у женщин, «чемпионы»-долгожители — мужчины. Например, в центральной части южного Закавказья в 40-х годах прошлого века из 15 долгожителей в возрасте 110—140 лет было 14 мужчин. В Абхазии в 20-х годах XX в. все верхние ступени возрастной лестницы также занимали мужчины.

Напомним, что в экстремальных условиях среды, по новым представлениям, растет генотипическая дисперсия признаков в популяции. Это относится также к длительности онтогенеза и его стадий. Появляются одновременно и короткоживущие, и долгоживущие генотипы в основном мужского пола. Первые повышают тут же детскую (или раннюю) смертность, а вторые проявляют себя спустя 100 лет как долгожители. Такая гипотеза происхождения феномена долгожительства может объяснить тот, казалось, парадоксальный факт, что долгожительство встречается в популяциях, живущих отнюдь не в оптимальных условиях. И, может, исследования истории тех регионов, где наблюдается долголетие (Нагорный Карабах, Абхазия, Болгария, Якутия и др.), позволят вскрыть те экстремальные события вековой давности, далеким отголоском которых являются наблюдаемые в наши дни долгожители.

В этих популяциях помимо ранней смертности должны наблюдаться: повышенная дисперсия и других признаков, высокая рождаемость мальчиков и более четкий половой диморфизм.

Кроме того, можно предсказать наличие у гибридных форм явления гетерозиса и «отцовского эффекта» (доминирование отца) по длительности онтогенеза и его стадий.

Мы рассказали о теории дифференциации полов и сравнили ее с наблюдаемыми фактами по одной лишь проблеме дифференциальной смертности и долголетия. Возможности теории этим не исчерпываются. Она в состоянии объяснить с единой точки зрения факты, связанные с раздельнополостью, позволяет предсказывать новые явления и дает возможность вскрыть некоторые закономерности, лежащие в их основе.

## Редкий портрет А. М. Бутлерова

**Н. П. Гречкин,**  
кандидат химических наук  
Казань

15 июня 1951 г. Борис Александрович Арбузов получил из Ленинграда письмо следующего содержания:

...Довожу до Вашего сведения, что после смерти Михаила Александровича Бутлерова у меня остался фотопортрет Александра Михайловича Бутлерова, снятый в год, когда Александр Михайлович начал чтение своих лекций.

Портрет этот считался в семье Бутлеровых уникальным, и Михаил Александрович не раз высказывал пожелание, чтобы после его смерти этот портрет был передан в музей имени Бутлерова. Не зная наверняка, существует ли такой музей и если существует, то где именно, обращаюсь к Вам с покорнейшей просьбой не отказать в уведомлении по адресу (Ленинград 178, Вас. Остр., 11-я линия, д. 120, кв. № 36, Миллеру Мих. Влад.), заинтересована ли возглавляемая Вами кафедра в получении указанного выше портрета и если заинтересована, то по какому адресу и на чье имя его следует выслать, чтобы обеспечить по возможности доставку его по назначению.

С искренним уважением  
9.06.51 Мих. Миллер

Сразу же Михаилу Владимировичу Миллеру был послан ответ с уведомлением о том, что портрет А. М. Бутлерова, относящийся по времени к началу 50-х годов, представляет для Научно-исследовательского химического института им. А. М. Бутлерова большой интерес и получение его весьма желательно.

Вскоре портрет был получен и до сих пор хранится в Бутлеровском институте.

По ряду причин публикация портрета задержалась, и вот теперь этот пробел в иконографии А. М. Бутлерова, с согласия директора НИХИ им. А. М. Бутлерова академика Б. А. Арбузова, решено восполнить.

О подлинности портрета говорит: во-первых, свидетельство М. В. Миллера; во-вторых, разительное сходство портрета с



Александр Михайлович Бутлеров.  
Фото начала 1850-х годов.

литературным (как говорят криминалисты — словесным) портретом А. М. Бутлерова, сделанным его учеником, писателем П. Д. Боборыкиным, учившимся в Казанском университете с 1852 по 1855 г. и специализировавшимся по химии у Бутлерова. В автобиографическом романе «В путь дорогу» Боборыкин так рисует облик Бутлерова: «Минут через двадцать пять явился и сам профессор. Он бойко выскочил из дверей и дробным шагом подлетел к изразцовому столу. Это был молодой еще человек. Большой лоб с взъемами, продолговатое лицо с острым носом и прищуренными косыми глазами придавал его личности бойкий и даже игривый характер»<sup>1</sup>; в-третьих и наконец, сходство публикуе-

мого портрета с более поздними портретами А. М. Бутлерова.

Несколько замечаний по поводу публикуемого портрета. Он фотографический и довольно сильно ретуширован; к счастью, ретуши подверглись только детали одежды, лицо почти не тронуто. Оригинал сделан на дневной бумаге и поэтому имеет тон сепия. Справа в нижней части имеется надпись: «Г. И. Рену 86». По-видимому, «Г. И. Рену» — инициалы и фамилия владельца фирмы, изготовлявшей портрет. «86» — год кончины А. М. Бутлерова; можно предположить, что его семейство имело портрет малого размера, который после смерти Александра Михайловича решило увеличить до размера настенного.

Этот увеличенный портрет и попал, при указанных выше обстоятельствах, в Казань в 1951 году.

<sup>1</sup> Боборыкин П. Д. В путь-дорогу... Роман в 6 книгах. Кн. 3. СПб, 1864, с. 99.

## Первый опыт комплексного исследования памятников первобытной культуры в России

**А. А. Формозов,**  
кандидат исторических наук  
Москва

В 1882 г., сто лет назад, вышла примечательная в истории русской науки книга А. А. Иностранцева «Доисторический человек каменного века побережья Ладожского озера». При первом же взгляде становится ясно, что с самого начала готовилась она не как рядовое и типовое издание, а как образцовое, роскошное. Бумага отличная, формат — 22×31 см, шрифт крупный, широкие поля. Множество иллюстраций на 244 страницах и таблицы, помещенные в конце, напечатаны четко, рельефно. Какова же история этой монографии?

Александр Александрович Иностранцев (1843—1919) окончил физико-математический факультет Петербургского университета и с 1870 г. заведовал там кафедрой геологии и палеонтологии. Провел ряд экспедиций: в 1867—1875 гг. — на Север России, в 1875 г. — в Крым, в 1878 г. — в Донецкий каменноугольный бассейн, в 1890, 1891, 1893 гг. — на Кавказ, в 1892 г. — на Урал, но все же зарекомендовал себя скорее как кабинетный, чем как полевой исследователь. Он основал Геологический музей Петербургского университета, существующий и поныне, в 1867 г. впервые в России применил микроскопические методы определения горных пород. Ему поручали описание своих геологических коллекций наши прославленные путешественники Н. М. Пржевальский, Г. Н. Потанин, М. В. Певцов. Им составлен первый русский учебник геологии, неоднократно переиздававшийся<sup>1</sup>.

Интересовала Иностранцева и археология. С 1869 г. он собирал каменные орудия. Весной 1877 г. городская дума столицы, разрабатывавшая план борьбы с наводнениями, не раз угрожавшими Петер-

бургу, обратилась к Иностранцеву за геологическими консультациями. Полвека спустя сын Иностранцева вспоминал, как отец, приняв предложение думы, поселился с семьей в селе Ивановском, откуда вместе с ним ежедневно отправлялся осматривать берега рек и каналов. Мальчику было всего пять лет, но он не забыл радость отца, нашедшего в одном обнажении орнаментированный костяной гарпун и человеческий череп<sup>2</sup>.

В 1878 г. началось строительство новых обводных каналов на Сясьской и Свирской системах, продолжавшееся до 1882 г. Иностранцев со своими учениками часто приезжал туда на экскурсии — описывать разрезы отложений. В залежавших под песком слоях торфа хорошо сохранилась древесина. Из стен канала то и дело приходилось выпиливать толстые дубовые стволы и сжигать их. В тех же горизонтах попадались кости, черепки, каменные орудия. Геологи собирали эти предметы и просили следить за находками такого рода работавших на строительстве инженеров и землекопов. В результате составила выразительная коллекция, поступившая в музей Петербургского университета. Понимая ее значение, Иностранцев решил дать всестороннюю характеристику накопленных материалов, используя все известные к тому времени приемы истолкования остатков первобытной культуры.

Первые результаты этих изысканий были изложены в кратких информационных в журналах и газетных статьях. Коллекция демонстрировалась в Москве на Антропологической выставке 1879 г., где Иностранцев выступил с докладом о своих открытиях. В 1880 г. он опубликовал статью на ту же тему в «Вестнике Европы» — са-

<sup>1</sup> Иностранцев А. А. Геология. Общий курс. Т. 1, изд. 5-е, СПб, 1914; т. 2, изд. 4-е, СПб, 1912.

<sup>2</sup> Иностранцев М. А. — Seminarium Kondakowianum, Прага, 1928, т. II, с. 346.

мом популярном русском журнале умеренно-либерального направления<sup>3</sup>.

Эти сообщения возбудили интерес к Ладожским находкам и в ученом мире, и в широкой публике, что и сделало возможным издание посвященного им фундаментального труда в типографии редактора «Вестника Европы» М. М. Стасюлевича.

Выпустить книгу в таком парадном оформлении удалось только благодаря большим организаторским способностям Иностранцева. Он устроил выставку своих находок на физико-математическом факультете Петербургского университета и сумел заманить на нее и министра народного просвещения, и министра финансов и даже председателя комитета министров. После этого на издание было получено 5 тысяч рублей. Гравюры профессор заказал не рядовым ремесленникам, а художнику-графику В. В. Матз и лучшему в те годы резчику по дереву А. И. Зубчанову. Фототаблицы готовили в Москве известные издатели М. Н. Шерер и Г. И. Наболиц, хотя печаталась книга в Петербурге.

На титуле книги стоит имя одного Иностранцева, но в действительности авторов у нее несколько. В наши дни коллективные работы создаются достаточно часто. В прошлом столетии это было большой редкостью. В сборе материала приняли участие десятки людей: безымянные землекопы — строители канала, инженеры, молодые геологи, начинавшие свою научную деятельность под руководством Иностранцева. Фамилии их перечислены в монографии, и в этом списке «кандидатов Петербургского университета» мы найдем будущих профессоров, видных исследователей недр нашей страны. Таковы Николай Алексеевич Соколов (1856—1907) — член-корреспондент Академии наук, профессор Петербургского университета, Павел Николаевич Венюков (1858—1916) — профессор Университета св. Владимира в Киеве, Борис Захарович Коленко (1856—1956) — крупный петрограф и минералог. Венюков не только вел полевые наблюдения, но и анализировал химический состав фрагментов лепной керамики, собранных на канале.

Самому Иностранцеву принадлежат главы, посвященные геологическому строению южного побережья Ладожского озера, остаткам фауны, орудиям и утвари первобытных людей и общим выводам. Раз-

делы, касающиеся всех растительных и некоторых костных остатков, поручено было составить специалистам — ботаникам, зоологам, антропологам.

О черепах человека большой очерк написал Анатолий Петрович Богданов (1834—1896) — профессор Московского университета, член-корреспондент Академии наук. По образованию зоолог (в 1858 г. защитил магистерскую диссертацию «О цветности пера птиц»), он возглавлял Зоологический музей университета, но в дальнейшем расширил сферу своих интересов. Предприняв в 1865—1866 гг. раскопки курганов в Подмоскowie, он охарактеризовал найденные там скелеты в докторской диссертации «О московском курганном племенн». Богданов основал первую в России кафедру антропологии, организовал Антропологическую выставку 1879 г. и по праву считается основоположником этой науки в нашей стране.

Десять черепов из Приладожья были первой значительной серией остатков ископаемого человека, обнаруженной в России. Богданов постарался изучить их с предельной тщательностью, сделал множество примеров и в итоге пришел к выводу, что хотя черепа кое в чем отличаются друг от друга, но в основном относятся к группе длинноголовых. Отмечены некоторые черты сходства краниологических материалов с Ладоги с теми, что встречены при раскопках среднерусских курганов. Это означает, что в формировании славянского «курганного племени» определенную роль сыграли его отдаленные предшественники — люди каменного века. Из более частных наблюдений Богданова любопытно одно: почти на всех черепах он заметил сильную стертость зубов, указывающую на употребление очень твердой пищи.

Длинные кости людей, собранные на канале, описал Михаил Андреевич Тихомиров (1848—1902) — доктор медицины, окончивший Московский университет, но преподававший сперва в Петербурге — в Медико-хирургической академии, а потом в Киеве — в Университете св. Владимира. И этот раздел книги выполнен на высоком научном уровне. От внимания Тихомирова не ускользнули, например, следы сросшегося перелома на одной кости. Сейчас в антропологии возникло целое направление — изучение болезней древних людей по изменениям на их скелетах. В XIX в. в этой интересной области делались только первые шаги, и мы должны по достоинству оценить наблюдательность Тихомирова.

Древесные остатки, обнаруженные

<sup>3</sup> Иностранцев А. А. Человек каменного века у Ладожского озера. — Вестник Европы, 1880, кн. 5, с. 272.



А. А. Иностранцев.

при строительстве Свирского и Сясьского каналов, определял киевский профессор, член-корреспондент Академии наук Иван Федорович Шмальгаузен (1849—1894) — талантливый ботаник, отец замечательного советского биолога академика И. И. Шмальгаузена. При обработке этой части коллекции Иностранцев консультировался и с профессором Петербургского университета, почетным академиком Андреем Николаевичем Бекетовым (1825—1902) — дедом Александра Блока. Оказалось, что в торфе сохранились остатки 39 видов растений: березы, ели, ольхи, сосны и т. д. Стволы дуба достигали в диаметре 16,5 м, а число колец на их срезах превышало 250. В торфе попадалась скорлупа орехов, расколотых первобытным человеком. По мнению ботаников, природная обстановка в Приладожье на том этапе каменного века, к которому относятся находки, мало отличалась от современной. Все же местность была более лесистой, чем в XIX столетии, когда сказалась интенсивная рубка леса в окрестностях столицы,

В коллекции из Приладожья было до 3000 костей животных. 2140 из них принадлежало рыбам. Определение их дал профессор и ректор Петербургского университета Карл Федорович Кесслер (1815—1881). В историю отечественной науки этот видный биолог вошел и как инициатор съездов русских естествоиспытателей и врачей. Раздел в книге Иностранцева — последняя работа Кесслера. К моменту ее выхода его уже не было в живых.

Описав кости сома, судака, налима, сига, окуня, протвы, берша, Кесслер сумел установить, как менялся состав добычи первобытных рыболовов в зависимости от времени года.

Анализ костей птиц (их немного, всего 120) провел выдающийся орнитолог, профессор Петербургского университета Модест Николаевич Богданов (1841—1888). Он известен и как автор превосходной научно-популярной книги «Из жизни русской природы», составленной после его смерти из статей, напечатанных им в разных детских журналах. Она неоднократно переиздавалась, в частности, и в наши дни. Богданов определил остатки уток, гуся, лебедя, тетерева, глухаря. И К. Ф. Кесслер и М. Н. Богданов еще раньше интересовались историей фауны по материалам археологических раскопок, выступали с докладами по этой тематике<sup>1</sup>, так что Иностранцев привлек их к обработке коллекций из Приладожья совсем не случайно.

Раздел о млекопитающих Иностранцев взял на себя. Он выделил кости тюленя, косули, северного оленя, лося, тура, плоскособого быка, кабана, зайца-беляка, бобра, водяной крысы, бурого медведя, куницы, хорька, выдры, волка, лисы.

Внутри этой главы особый параграф отведен для характеристики остатков собак. Это труд выдающегося русского естествоиспытателя профессора Московского университета, в будущем почетного академика Дмитрия Николаевича Анучина (1843—1923). Выяснилось, что у первобытных обитателей Приладожья было две породы собак — мелкая и крупная. Мелкая похожа на ту, что описана под названием торфяниковой при публикации находок в свайных постройках Швейцарии, а крупная — своеобразна. Анучин наименовал ее собакой Иностранцева, и этот термин удержался в научной литературе.

<sup>1</sup> Кесслер К. Ф. — Тр. Вольного эконома. Об-ва, 1865, т. IV, вып. 2, с. 106; Богданов М. Н. — Речи и протоколы VI съезда русских естествоисп. и врачей. СПб, 1880, антропология, с. 290.

Помимо костей в отложениях, содержащих каменные орудия, было много раковин моллюсков. Они также рассмотрены в монографии.

Ни в одной книге по археологии, вышедшей до того в России, не анализировались столь подробно данные о природном окружении древнего человека. Палеозоология — научная дисциплина, исследующая фауну минувших эпох по костным остаткам из археологических раскопок, — возникла в середине XIX в. Когда в 1847 г. Датская Академия наук приступила к изучению раковинных куч — кьеккенмеддигов, в образованной для этого комиссии вместе с археологами работал и биолог Иоанн Ианетус Стеенструп (1813—1897). Он и показал, как много можно узнать о животном мире прошлого благодаря костям зверей, птиц и рыб, убитых первобытными охотниками, и раковинам съеденных ими моллюсков. Это направление в зоологии успешно развил Людвиг Рютимейер (1825—1895), приглашенный археологами для разбора фаунистических коллекций из свайных построек Швейцарии. В этих стоянках сохранились и растительные остатки. Ими занялись ботаники. В России достижения западных ученых были хорошо известны. И Стеенструпа, и Рютимейера избрали членами-корреспондентами Петербургской Академии наук.

Иностранцев полностью учел опыт предшественников и создал труд, несколько не уступающий изданным ими. Появившееся в итоге комплексное исследование надолго стало образцом для наших и зарубежных археологов.

В подготовке книги Иностранцева участвовал и художник Михаил Петрович Клодт (1835—1914) — один из учредителей знаменитых Передвижных выставок, в будущем академик Академии художеств. Посетители Третьяковской галереи, может быть, помнят всегда входившую в ее экспозицию его картину «Последняя весна». Для издания Иностранцева он выполнил графическую реконструкцию облика первобытного человека по черепу, найденному в Приладожье. Человек изображен в профиль и в фас и похож на индейца.

Собственно археологическая часть коллекции: каменные и костяные орудия и обломки глиняных сосудов — описана самим Иностранцевым. Предметов из кремня тут мало, скорее всего потому, что месторождений его в окружающих районах нет. По данным Иностранцева, на исследованную им стоянку кремьен приносили за 85 верст. Но нельзя забы-



Титульный лист книги «Донсторический человек каменного века...»

вать и о том, что древние вещи собирали в основном рабочие, обращавшие внимание на крупные полированные изделия, а не на мелкие невзрачные осколки кремня.

Обитатели Приладожья использовали роговики, яшмовидный кремнистый сланец, глинистый сланец и кварц, изготовляли скребки, наконечники стрел. Больше в коллекции полированных орудий — долот и топоров. Есть кирки с двумя рабочими концами, обломки украшений — колец из камня.

При строительстве была собрана первая в России большая серия костяных поделок каменного века. По классификации Иностранцева, в ней представлены гарпуны, шилья, амулеты и «заострения под углом 45 градусов». Этот несколько громоздкий термин привился в археологической литературе и употребляется до сих пор. На некоторых костях были замечены ритмические нарезки, то ли счетные знаки, то ли орнамент. Есть и настоящие произведения искусства — маленькие плоские скульптуры. Одна из них — фигура



Реконструкция облика первобытного человека, данная М. П. Клодтом.

человекоподобного существа с раздвоенной головой воплощает, вероятно, какой-то мифологический персонаж, популярный у древнего населения Севера. Впоследствии точно такая же фигура была обнаружена среди наскальных гравировок Норвегии, а близкая до тождества костяная статуэтка — в неолитическом могильнике Звейниеке в Латвии.

Фрагментов глиняной посуды при строительстве Ладожского канала нашли немного. Рабочие их явно не замечали. Иностранцев не ограничился описанием внешнего вида черепков. С помощью химического анализа был установлен состав глиняного теста.

Из деревянных изделий с канала наиболее интересен обломок древнего дубового челна с внутренней перегородкой. Длина сохранившейся части — 170 см, ширина — 86 см.

В заключительной главе Иностранцев стремился обрисовать жизнь первобытных людей в Приладожье в важнейших ее проявлениях. Он подчеркнул, что изучать ранние стадии культуры должны сов-

местно историки и натуралисты. Только в этом случае удастся получить относительно полную картину. Многие выводы этого раздела книги соответствуют современным представлениям о каменном веке Севера Европейской части СССР. Так, здесь сказано, что человек, обитавший в Приладожье, был «прежде всего рыбак, а уже затем охотник», что жил он не в пещерах, но и не в избах, а по всей вероятности в землянках. Природное окружение его было ближе к тому, что реконструируется по раскопкам торфяников Дании, чем к тому, что восстанавливается исследователями свайных построек Швейцарии. Аналогии находкам на Ладоге можно подобрать в коллекциях, добытых как в Скандинавии, так и в Швейцарии, и автор задается вопросом — результат ли это заимствования или конвергенции, склоняясь к последнему.

Обсуждается на страницах книги и проблема возраста Ладожского первобытного поселка. Сделав оговорку, что об «абсолютном счислении нечего и думать», Иностранцев все же намечает путь к точной датировке: определение скорости накопления осадков, перекрывших слой с каменными орудиями. Первый опыт такого расчета принадлежит английскому геологу Л. Хорнеру (1785—1864). В 1851 г., изучая илстые отложения Нила у обелиска в Гелиополе и статуи Рамзеса II в Мемфисе, он пришел к выводу, что за 4150 лет накопилось 11 футов ила, откуда можно вывести, что каждые сто лет откладывалось по 3,10 дюйма.

Тот же метод применил Иностранцев. За исходную точку он взял не предметы каменного века, а найденный в торфе много выше их железный топор, подобный тому, что обнаружили при раскопках курганов X—XI вв. в Петербургской губернии. Установив, какая толща накопилась с этого времени, и высчитав, сколько отлагалось в среднем за столетие, Иностранцев предложил абсолютные даты для каменного века в Приладожье — 8250—9300 лет от сего дня, хотя и не настаивал на них. Действительно, расчет неверен. Сейчас археологи располагают более надежными методами датирования и относят культурные остатки с ладожских каналов к III—II тысячелетию до н. э.

Причина ошибки в том, что толщина отложений за год и на Ниле и на Ладоге принималась за постоянную величину. Между тем год на год не приходится: когда-то накопление осадков шло быстрее, когда-то медленнее.

Несмотря на ошибочность этого вывода Иностранцева, надо отдать должное его смелости в разработке сложнейшей проблемы. Смелость Иностранцева проявилась и в том, что он назвал цифры, решительно расходящиеся с библейскими. Многие исследователи древности, работавшие одновременно с ним, обходили вопрос о древности человека или не приводили никаких абсолютных дат, или подгоняли их под библейскую хронологию (7 тыс. лет)<sup>5</sup>. Неудивительно, что духовная цензура возражала против того, чтобы монография о доисторическом человеке побережья Ладожского озера была в общедоступных библиотеках.

Я все время говорю о «каменном веке», не употребляя общепринятые термины «палеолит» и «неолит». Ладожские находки, конечно, неолитические, но дело в том, что Иностранцев не признавал созданную в 1865 г. английским ученым Дж. Леббоком (1834—1913) периодизацию древнейшей культуры. Иностранцев отвергал и все другие периодизации, построенные по культурно-историческому принципу, настаивая на том, что в основе их должны лежать только изучение фауны и флоры со стоянок, их геологии и т. д. Исходя из этих положений, он совершенно правильно сопоставлял публикуемые древности не с материалами из пещер Франции и террас на Сомме (т. е. палеолитическими), а с коллекциями из торфяников Дании и свайных построек Швейцарии (т. е. неолитическими). Но некоторые его соображения абсолютно несостоятельны. На Волхове у деревни Вельсы П. Н. Венюков и Н. А. Соколов собрали на дюнах изделия из кремня и черепки лепных сосудов. Обратив внимание на разные условия археологических находок на Волхове и каналах Приладожья, Иностранцев справедливо заключил, что первые должны быть более поздними. Сейчас, когда разработана очень детальная классификация первобытной керамики, мы уверенно можем отнести стоянку Вельсы ко II тысячелетию до н. э. Но никак нельзя согласиться с дальнейшими рассуждениями Иностранцева: на Ладоге найдены полированные орудия, а в Вельсах — нет, все предметы из камня там только оббитые. Получается, что неолит древнее палеолита. Значит, периодизация археологов никуда не годится.

Эта часть книги Иностранцева неудачна. Ведь из того, что полированные орудия связаны с неолитом, отнюдь не следует, что с их появлением оббитые орудия сразу и повсеместно вышли из употребления. Их продолжали использовать и в бронзовом, а кое-где даже в железном веке. Коллекция из Вельс невелика. В нее, безусловно, входят не все виды изделий неолитического человека. Он, несомненно, знал полировку камня, но среди потерянных и брошенных им на площади стоянки вещей шлифованных орудий случайно не оказалось. О позднем возрасте этого поселения свидетельствуют не одни геологические данные, но и сам комплекс находок, прежде всего тип керамики.

В конце своей монографии Иностранцев поместил геологическую карту Приладожья, разрезы отложений по руслу каналов, 4 таблицы с фотографиями черепов людей, 2 таблицы с фотографиями черепов собак, 4 таблицы с костяными изделиями и одну с изображениями обломков сосудов.

«Доисторический человек побережья Ладожского озера» вызвал ряд откликов — в частности в «Вестнике Европы», «Журнале Министерства народного просвещения» и «Историческом вестнике»<sup>6</sup>. Кем они написаны — неизвестно. Труд Иностранцева всюду оценивался положительно, но к автору предъявлялись и отдельные претензии. Рецензент «Журнала Министерства народного просвещения» отстаивал археологическую периодизацию каменного века с делением его на палеолит и неолит и отмечал, что находки в Приладожье сделаны не в месте первоначального залегания, а перетолжены водой. Рецензент «Вестника Европы» сожалел, что в монографии нет четкого ответа на вопрос, какому народу принадлежали черепки, глиняные сосуды, каменные и костяные орудия, обнаруженные на Ладоге; предположения же А. П. Богданова и А. А. Иностранцева противоречат друг другу. Зарубежных читателей об открытиях Иностранцева информировал видный русский биолог Константин Сергеевич Мережковский (1855—1921) во французском журнале «Revue d'Anthropologie»<sup>7</sup>.

<sup>5</sup> Подробнее: Формозов А. А.— Сов. археол., 1982, № 1, с. 5.

<sup>6</sup> Вестник Европы, 1882, № 8, с. 831; П. У.— Истор. вестник, 1882, № 9, с. 658; Сет-ский И.— Ж. Мин. нар. просв., 1883, № 3, отд. 2, с. 120.

<sup>7</sup> Mèrejkowsky C.— Revue d'anthropologie, 1883, sér. 2, t. 6, № 3, p. 502—506, 540—545.



Одна из таблиц книги с изображением обломков глиняной посуды и орудий труда.

За прошедшие с тех пор сто лет стало еще яснее огромное значение этой книги в развитии нашей науки о каменном веке. Это образец комплексного подхода к исследованию жизни первобытных людей. Каждый из авторов — геологов, антропологов, зоологов и ботаников — внес свой вклад в этот нелегкий для истолкования круг проблем, проверяя и дополняя данные, полученные разными методами. Гораздо точнее современников

Иностранцева можем мы определить сейчас и то, в чем он был слаб. Это вовсе не вопрос о народе, населявшем Приладожье тысячи лет назад: назвать его пока не в состоянии и мы. Недостатки были в другом. Как уже говорилось, древние вещи представлены в коллекции не полностью, а выборочно. Кремневых изделий на стоянках могло быть немного, но уж черепков, бесспорно, было куда больше, чем собрано и описано. Это результат того, что добывали материал в поле не сами ученые, а землекопы, только через какой-то срок передававшие находки геологам или инженерам. Так еще долго поступали некоторые археологи и у нас и за рубежом, отчего картина раскопок неизбежно получалась искаженной. Известный французский специалист по палеолиту Эдуард Пьетт (1827—1906) почитал слишком опасным для здоровья пребывание в сырых пещерах. Организованные им раскопки в гротах Гурдан и Лорте шли в его отсутствие под надзором хозяина отеля в городке Монтрежо М. Бладье. Пьетт не скрывал это обстоятельство, будучи абсолютно уверен, что ему удалось разобратся в сложной стратиграфии стоянок, расспрашивая землекопов, где и что ими найдено. (Тогда — в 1871—1873 гг. — ученый не достиг еще пятидесяти, а умер в возрасте восьмидесяти лет.)

Поставленная таким образом фиксация находок во многих случаях приводила к тому, что древние вещи из разных слоев и разных пунктов воспринимались как одновременные и взаимосвязанные, а это неминуемо вносило путаницу в выводы ученых. Иностранцев полагал, что все попавшие в его руки культурные остатки относятся к одному поселению каменного века. Между тем землекопы принесли черепки, кости и кремни из нескольких мест с достаточно большого отрезка канала: от Новой Ладоги до Загубья. Современные археологи думают, что в коллекции смешаны предметы из ряда — минимум из двух — стоянок, характеризующих разные этапы неолита<sup>8</sup>.

Не будем, однако, судить о наших предшественниках по тому, чего они не дали, а скажем им спасибо за то, что они сделали. Книга Иностранцева — труд выдающийся, не утративший своего значения поныне.

Комплексный метод исследования памятников первобытной культуры утвердился в нашей стране не сразу. В дореволюционные годы исследования, подобные осуществленным Иностранцевым в Приладожье, больше нигде проведены не были. Порою археологи приглашали посетить свои раскопки того или иного геолога, обычно, но далеко не всегда, передавали собранные кости животных на определение зоологам, но все это были скорее отдельные консультации у представителей других наук, чем комплексные работы.

В 1920-х годах подлинно комплексное изучение пещерных стоянок палеолитического человека в Крыму организовал замечательный советский археолог и антрополог Глеб Анатольевич Бонч-Осмоловский (1890—1943). Специалисты дали развернутые заключения о геологии, фауне и флоре этих стоянок. В 1930-х годах по широкой программе исследовались неолитические памятники в Карелии, где рядом с крупным археологом Владиславом Иосифовичем Равдоникасом (1894—1976) работал серьезный геолог Борис Федорович Земляков.

Все же в довоенные годы наши археологи интересовались больше историко-социологической проблематикой (типы древних поселков и жилищ и их связь с родо-племенным строем), и контакты археологии со всем циклом естественных дисциплин временно ослабли.

Сейчас проблемы экологии первобытного человека стоят в центре внимания советских археологов. Комплексно исследуются не только стоянки каменного века, но и поселения эпохи металла. Именно поэтому сегодня уместно вспомнить о первом опыте таких исследований в России сто лет назад и об их инициаторе А. А. Иностранцеве.

<sup>8</sup> Гурина Н. Н. — Материалы и иссл. по археол. СССР, 1961, № 89, с. 388.

## ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 1982 ГОДА

### По физике — К. Вильсон

Нобелевская премия по физике за 1982 г. присуждена американскому ученому К. Вильсону за фундаментальный вклад в изучение критических явлений.

Кеннет Вильсон (Kenneth Wilson) родился в г. Уолтхэме (штат Массачусетс) в 1936 г., учился в Калифорнийском технологическом институте, с 1971 г. — профессор Корнеллского университета в Итаке (штат Нью-Йорк).

После окончания института К. Вильсон работал над диссертацией, проходя аспирантуру у М. Гелл-Манна, известного американского физика, удостоенного в 1969 г. Нобелевской премии.

Гелл-Манн оценил своего молчаливого аспиранта и рекомендовал его на работу в Корнеллский университет, хотя у Вильсона почти не было публикаций. Ему была предоставлена возможность спокойно работать, не публикуя скороспелых работ на модные темы, как часто бывают вынуждены поступать молодые исследователи, чтобы доказать свою квалификацию.

Вильсон сразу занялся проблемой критических явлений<sup>1</sup>. Сделаем небольшое от-



К. Вильсон в своем кабинете в Корнеллском университете.

ступление о постановке проблемы и истории ее решения.

Критические явления состоят в аномальном росте флуктуаций в статистической или квантовомеханической системе при определенных значениях ее параметров (температуры, давления и т. п.) и возникают в широком круге задач теоретической физики. Наиболее известный пример критических явлений — это фазовые переходы 2-го рода (т. е. без выделения или поглощения тепла),

но есть и другие важные примеры: теория турбулентности, теория рассеяния элементарных частиц при высоких энергиях и теория удержания кварков.

Для простоты будем говорить только о фазовых переходах, где теория критических явлений разработана лучше всего. Рассмотрим для примера классическую жидкость. В обычных условиях на движение одной молекулы этой жидкости влияет лишь небольшое число ближайших соседей. Размер области, в которой существенно это влияние (так называемый корреляционный радиус  $\xi_c$ ), составляет несколько межмолекулярных расстояний. Это обстоятельство существенно упрощает теоретический анализ свойств жидкости. Можно исследовать систему из небольшого числа молекул и на основе этого предсказать свойства макроскопической системы, состоящей из огромного числа частиц. В той или иной форме эта идея лежит в основе всей макрофизики.

Однако существуют такие особые состояния жидкости (критические точки), характеризующиеся определенными значениями плотности и температуры, в которых корреляционный радиус обращается в бесконечность. В критической точке состояние одной молекулы зависит от состояний бесконечного числа других молекул!

В реальных системах из конечного числа молекул этому соответствует резкий рост величины  $\xi_c$ . В окрестности критической точки система становится

<sup>1</sup> Подробное изложение теории критических явлений можно найти, например, в монографии: Паташинский А. Э., Покровский В. Л. Флуктуационная теория фазовых переходов. М.: Наука, 1982.

аномально восприимчивой по отношению к некоторым полям, наблюдаются скачкообразные изменения теплоемкости, сжимаемости, объемного коэффициента термического расширения и другие интересные явления.

К началу 70-х годов, когда появились работы Вильсона, уже была построена феноменологическая теория фазовых переходов 2-го рода и заложены основы микроскопической теории. Вильсон, так сказать, нанес завершающий удар: он разработал эффективно работающую количественную теоретическую схему. Высказанные им идеи оказались полезными во многих областях, где возникают критические явления, и сильно повлияли на развитие теоретической физики. Вероятно, Нобелевский комитет, принимая свое решение, исходил именно из теоретического значения работ Вильсона в целом.

Л. Д. Ландау в работах, начатых в 1937 г. и продолжавшихся вплоть до трагической автомобильной катастрофы в 1962 г., показал, что в окрестности критической точки среди характеристик системы можно выделить наиболее сильно флуктуирующий параметр<sup>2</sup> (параметр порядка) и описывать его флуктуации эффективной теорией поля, связанной с пространственным распределением этого параметра. Число компонент и свойства симметрии этого поля зависят от характеристик исходной системы, но в остальном эта теория поля совершенно универсальна.

В простейшем примере вблизи критической точки фазового перехода жидкости в пар<sup>3</sup> параметр порядка — это

разность между плотностями жидкости и пара. В критической точке эта разность обращается в нуль, так что исчезает различие между двумя фазами. Вблизи критической точки система состоит из хаотично расположенных областей жидкости и пара. Средний размер такой области и выступает в качестве корреляционного радиуса, имеющего большую величину, поскольку в окрестности критической точки велика вероятность образования в одной фазе зародыша другой фазы.

Эта вероятность описывается распределением Больцмана  $W = e^{-\Delta E/T}$ , где  $\Delta E$  — разность энергий зародыша новой фазы и такого же объема основной фазы, а  $T$  — абсолютная температура в энергетических единицах. Если плотности энергий обеих фаз отличаются незначительно, возникновение зародышей даже сравнительно больших размеров характеризуется заметной вероятностью.

Феноменологическое описание критических явлений началось за несколько лет до появления модели Ландау. В 1959 г. американский физик М. Фишер описал степенными законами зависимости различных термодинамических величин от температуры и нашел основные соотношения (законы подобия) для показателей в этих законах. Фишер проанализировал так называемую двумерную модель Изинга<sup>4</sup>, точное решение которой было найдено Л. Онсагером еще в 1944 г. Развивая эти идеи, М. Фишер с сотрудниками и

Л. Каданов в США, а также А. З. Паташинский и В. Л. Покровский в нашей стране независимо пришли к 1965 г. к феноменологической теории фазовых переходов, основанной на гипотезе подобия.

В эту теорию входили известные функции, описывающие взаимное влияние различных флуктуаций, и гипотеза подобия связывала между собой показатели степеней в этих функциях. Показатели в степенных законах для термодинамических величин — теплоемкости, восприимчивости и т. д. — также выражались через показатели в корреляционных функциях. Оставалось два показателя (критических индекса), которые не определялись феноменологической теорией.

Однако все это не могло заменить количественную теорию, исходящую из первых принципов и описывающую существующие экспериментальные данные. Если критические индексы — это новые трансцендентные математические постоянные (как  $\pi$  или  $e$ ), то нужен был алгоритм для вычисления этих чисел с любой точностью<sup>5</sup>.

Такое положение сложилось к 1972 г., когда появились работы Вильсона. Забегая вперед, скажем, что ясность качественного описания и точность количественных расчетов в предложенном им подходе произвели на всех такое впечатление, что проблема критических явлений в значительной степени утратила свою остроту. До сих пор остались теоретики, надеющиеся на точное решение проблемы, вроде решения Онсагера для двумерного случая, но для практических целей теория Вильсона вполне заменяет точное решение. Кроме того, его методы были с

<sup>4</sup> Модель Изинга описывает кристаллическую решетку, в узлах которой расположены спины  $\sigma$  — величины, принимающие только два значения ( $\pm 1$ ). Энергия модели Изинга складывается из энергий взаимодействия ближайших соседей (т. е. каждый узел связан только с соседними — в двумерном случае их 4, в 3-мерном 6 и т. д.). Энергия взаимодействия пары спинов равна их произведению со знаком минус, т. е.  $-1$  для одинаковых спинов и  $+1$  для разных.

<sup>2</sup> Суть статистических флуктуаций параметров заключается в том, что система с определенной вероятностью может перейти в состояние, в которых значения этих параметров отличаются от равновесных.

<sup>3</sup> В этой точке переход жидкости в пар, представляющий собой классический пример фазового перехода 1-го рода, становится эквивалентным фазовому переходу 2-го рода.

<sup>5</sup> Существовал, впрочем, способ приближенного вычисления критических индексов в 3-мерной модели Изинга с помощью разложения по обратным степеням температуры. Однако он представлял собой, скорее, численный эксперимент, чем физический метод, и не позволял понять смысл критических явлений.

успехом применены к другим задачам и вошли в арсенал современной теоретической физики.

Качественная сторона сформулированного Вильсоном подхода — это так называемый метод рекурсий, идея которого восходит к работам Ф. Дайсона и Л. Каданова. Пояснил его на простом примере, для чего рассмотрим одномерную статистическую систему — цепочку из  $N$  атомов, связанных упругими силами. Будем учитывать взаимодействие только между соседними атомами. Энергия упругого взаимодействия пропорциональна квадрату расстояния, так что полная энергия системы пропорциональна сумме квадратов соседних расстояний. Коэффициент пропорциональности  $k$  в этой сумме — это обычный коэффициент упругости.

Термодинамика такой системы определяется статистической суммой Гиббса  $Z_N(T)$ . В данном случае это многократный интеграл по координатам всех атомов от распределения Больцмана  $e^{-E/T}$ , где  $E$  — полная энергия, зависящая от координат всех атомов системы. Проинтегрируем сначала по координате  $r_1$  одного из атомов. В этот интеграл входят только два из  $N$  слагаемых в полной энергии, а именно члены, соответствующие взаимодействию с левым и правым соседями —  $r_0$  и  $r_2$ . Если отсчитывать координаты крайних атомов от середины расстояния между ними, то сумма

$$k(r_0 - r_1)^2 + k(r_1 - r_2)^2$$

сводится к энергии взаимодействия крайних атомов непосредственно между собой  $k \cdot 2X(r_0 - r_2)^2$  и энергии взаимодействия среднего атома с центром масс  $2k[r_1 - (r_0 + r_2)/2]^2$ . При этом коэффициент упругости для взаимодействия крайних атомов в два раза уменьшен, а для взаимодействия среднего атома с центром масс — в два раза увеличен по сравнению с исходным значением. Аналогичное рассмотрение применимо и ко всем остальным нечетным атомам. Интегралы по нечетным координатам одинаковы, так что

входящее в статистическую сумму Гиббса произведение равно соответствующей степени одного из них, который мы обозначим  $f(T)$ . Оставшийся множитель в статистической сумме содержит лишь четные атомы. Но это точно такая же статистическая сумма, как вначале, только с удвоенной температурой<sup>6</sup> и числом атомов  $N/2$ .

Мы получили рекуррентное соотношение:

$$Z_N(T) = f^{N/2}(T) Z_{N/2}(2T)$$

Вместо того чтобы интегрировать по оставшимся координатам, можно воспользоваться этим соотношением. В результате статистическая сумма запишется в виде произведения. Не будем заниматься его исследованием: этот пример нам понадобится только для иллюстрации метода Вильсона.

В общем случае метод вычисления статистической суммы, предложенный Вильсоном, сводится, как и в приведенном выше простом примере, к многократному повторению одной и той же операции (рекурсии). При каждой рекурсии учитывается только часть степеней свободы (координат, спинов и т. д.). Интегрируя и суммируя по ним, можно найти эффективные энергию и температуру для оставшихся степеней свободы.

В примере с упругими силами энергия не менялась по своей форме, а температура увеличивалась в два раза при каждой рекурсии. В практических задачах зависимость эффективной энергии от степеней свободы системы гораздо сложнее, поэтому для достижения высокой точности вычислений приходится вводить много коэффициентов.

Ниже будет показано, как Вильсону удалось обойти эту трудность. Если интересоваться качественной картиной, то можно отвлекаться от изменения формы эффективной энергии и рассмотреть только изменение эффективной температуры  $T_n$  с эффективным числом частиц  $n$ .

В реальных системах эффективная температура  $T_n$  нелинейно меняется при рекурсиях:  $T_n = R(T_{n/2})$ , где  $R(T)$  — некоторая функция, зависящая от числа компонент и свойств симметрии системы, но не от деталей ее микроструктуры (таких, как межатомные или межмолекулярные силы).

Критические явления возникают, если исходная температура близка к фиксированной точке рекурсионного уравнения  $T_0 = R(T_0)$ . В окрестности этой точки уравнение можно разложить в ряд по  $(T_n - T_0)$  и ограничиться линейным членом этого разложения:

$$T_n - T_0 = R(T_{n/2}) - R(T_0) \simeq R'(T_0)(T_{n/2} - T_0)$$

Решение линейного уравнения легко найти. Оно изменяется с числом частиц  $n$  по степенному закону  $T_n - T_0 = Cn^{-\lambda}$ , где  $\lambda$  — критический индекс, а постоянная  $C$  находится из условия  $T = T_n$ , т. е.  $T - T_0 = Cn^{-\lambda}$  или  $C = (T - T_0)n^\lambda$ . Так и возникают законы подобия. Критический индекс  $\lambda$  определяется из уравнения:

$$R' [T_n] \cdot 2^\lambda = 1.$$

Отсюда можно сразу сделать важный вывод об универсальности критического индекса: ведь функция  $R(T)$  не зависит от деталей системы. Действительно, как свидетельствуют экспериментальные данные, различные системы удовлетворяют вблизи критической точки универсальным законам подобия с одними и теми же критическими индексами.

Метод рекурсий с успехом применялся к широкому кругу нелинейных задач теоретической физики. Понятия фиксированной точки, эффективной энергии и температуры стали столь же универсальными и полезными, как понятия теории гармонических колебаний. В этом — немалая заслуга Вильсона.

Метод рекурсий дает простую качественную картину критических явлений, но для количественного описания надо

<sup>6</sup> Поскольку в статистическую сумму входит только отношение  $k/T$ , замена  $k$  на  $k/2$  соответствует замене  $T$  на  $2T$ .

учитывать изменение формы эффективной энергии при изменении числа частиц, что является сложной проблемой. Вильсон и Фишер предложили остроумный прием, с помощью которого удалось построить количественную теорию, сформулированную Вильсоном в 1972 г. в короткой заметке<sup>7</sup>, которая произвела настоящую сенсацию. Выяснилось, что если взглянуть на проблему с новой точки зрения, то она в значительной мере теряет свою сложность. А именно, оказалось полезным рассмотреть проблему критических явлений в пространстве, имеющем произвольную размерность  $d$ , но равную 3. Дело в том, что в 4-мерном пространстве известна фиксированная точка рекурсионных уравнений<sup>8</sup>. В этой фиксированной точке эффективная энергия имеет квадратичную форму, соответствующую упругому взаимодействию.

А что будет, если размерность пространства положить равной 3,99? Этот безумный вопрос, который задали Вильсон и Фишер, и послужил ключом к решению. Они установили, что вовсе не так сложно обобщить теорию на нецелую размерность пространства. В пространстве с размерностью 3,99 фиксированная точка будет близка к фиксированной точке 4-мерной теории, т. е. эффективная энергия будет близка к квадратичной. Это отклонение от квадратичной формы можно учесть, пользуясь известными методами теории возмущений.

После этого естественно было обобщить полученные результаты на случай произвольной размерности 4— $\epsilon$  и попытаться экстраполировать значения критических индексов к  $\epsilon=1$ , т. е. в реальный мир. Вильсон обнаружил, что критические индексы медленно изменяются при  $\epsilon \ll 1$ , так что первые два

члена ряда по  $\epsilon$  ( $\epsilon$ -разложения) описывают при  $\epsilon=1$  экспериментальные значения критических индексов с точностью около 1% (что превышало в то время точность большинства экспериментов).

В настоящее время с помощью методов, разработанных в нашей стране Л. Н. Липатовым, удалось улучшить сходимость  $\epsilon$ -разложения и добиться еще более высокой точности. Не только критические индексы, но и корреляционные функции и термодинамические параметры в уравнении состояния вещества вблизи критической точки хорошо описываются  $\epsilon$ -разложением. Кроме того, как и метод рекурсий,  $\epsilon$ -разложение применялось ко многим другим нелинейным явлениям.

Не следует переоценивать важность формальных приемов, как бы они ни были действительны.  $\epsilon$ -разложение еще не является теорией критических явлений в той мере, как мы это привыкли требовать от физических теорий. Возможно, при  $\epsilon=1$  имеется скрытая симметрия, которая ускользает при рекурсионном подходе и в  $\epsilon$ -разложении.

Конечно, подход Вильсона не в состоянии учесть все специфические особенности конкретной задачи, как, впрочем, и любой общий метод. Все же, если сравнить эти «маленькие слабости» с тем огромным положительным вкладом, который внесли эти идеи в развитие теории критических явлений, то не остается сомнений в их плодотворности.

Как уже говорилось, в этих работах Вильсон опирался на достижения предшественников: Фишера, Паташинского, Покровского, Каданова и других. Возможно, слова Вильсона о том, что он «огорошен (astounded) Нобелевской премией», надо понимать именно в этом смысле. Зная его прямоту и скромность, можно предположить, что он удивился, узнав, что премии дали ему одному.

Достижения Вильсона не ограничиваются этими работами, и Нобелевский комитет упоминает о его вкладе в создание теории элементарных частиц. Вероятно, имеется в виду метод решеточных калибровоч-

ных теорий<sup>9</sup>, впервые предложенный Вегнером и примененный Вильсоном для теоретического описания удержания кварков внутри адронов. В своей знаменитой работе «Пленение кварков» Вильсон предложил «струнный» механизм дальнедействующих сил между кварками. Эта работа послужила началом нового подхода к калибровочным теориям. На сегодняшний день это единственная теоретическая модель, объясняющая «невыветание» кварков.

Эта работа датирована 1974 годом. Известно, что Вильсон продолжает много работать, пытается совместить свою любимую идею рекурсий с методом Монте-Карло<sup>10</sup> для решеточных калибровочных теорий.

По натуре человек замкнутый и целиком поглощенный наукой, он вряд ли решительно изменит свой образ жизни после присуждения ему Нобелевской премии.

Скорее всего, он, как и раньше, будет большую часть времени проводить у терминала ЭВМ, стоящего у него дома, пытаясь найти количественный подход к одной безнадежной проблеме. Хочется верить, что это ему будет удаваться и впредь.

**А. А. Мигдал,**  
доктор физико-математических наук  
Институт теоретической физики  
им. Л. Д. Ландау АН СССР

<sup>7</sup> В этом методе непрерывное пространство заменяется решеткой с очень малым шагом. При этом удается построить модель вроде модели Изинга, но с более сложной зависимостью от степеней свободы. На расстоянии много больше шага решетки эта модель эквивалентна обычной непрерывной теории поля. Теоретический анализ такой решеточной модели во многих отношениях проще, чем анализ непрерывной теории поля, к которой можно вернуться, устремляя шаг решетки к нулю.

<sup>10</sup> Метод имитации статистической системы на ЭВМ с помощью случайных чисел.

<sup>7</sup> Phys. Rev. Lett., 1972, v. 28, p. 548.

<sup>8</sup> Решение теории поля в 4-мерном пространстве было найдено в 1954 г. См.: Ландау Л. Д., Абрикосов А. А., Халатников И. М.— ДАН СССР, 1954, т. 95, с. 773, 947, 1177.

## По химии — А. Круг

Нобелевская премия по химии за 1982 г. присуждена доктору Арону Кругу за работы в области электронной микроскопии, которые позволили произвести анализ структуры важнейших нуклеопротеидных комплексов.

А. Круг (Aaron Klug) родился в 1926 г. в Йоганнесбурге. С юношеских лет живет в Великобритании и является подданным этой страны. Кристаллограф по образованию, он начал свою научную деятельность в колледже Бирбек в Лондоне. Здесь совместно с Розалинд Франклин он занимался исследованиями вируса табачной мозаики (ВТМ) — классическим объектом молекулярной биологии и «биологической» кристаллографии. А. Круг в сущности занимается этим всю жизнь. Р. Франклин в то время проводила рентгеноструктурный анализ ДНК. Имя этой талантливой женщины тесно связано с историей открытия структуры двойной спирали ДНК. Р. Франклин умерла в 1958 г., оставив весь свой архив А. Кругу, и он в течение всей своей жизни сохраняет огромное уважение к памяти Франклин. Встреча с ней в самом начале научной работы А. Круга, ее руководстве сыграли очень большую роль в определении его дальнейшей научной судьбы.

Вскоре А. Круг переезжает в Кембридж. Университет в этом городе — древнейший в Англии после Оксфорда, построен по принципу объединения большинства студентов и преподавателей в колледжи. Преподаватели, иногда выдающиеся ученые, ведут в колледжах занятия с небольшими группами учеников. Одним из таких преподавателей стал и А. Круг. Однако не это определило жизнь А. Круга в Кембридже.

Задолго до его приезда в Кембридж Кавендишской лабораторией руководил Л. Брэгг-младший, получивший, как известно, Нобелевскую премию (вместе с отцом Л. Брэггом-старшим) за пионерские работы по рентгеноструктурному анализу кристаллов. Л. Брэгг стремил-



А. Круг в лаборатории молекулярной биологии (Кембридж).

ся к тому, чтобы расширить круг объектов, исследуемых этим методом. Неудивительно поэтому, что именно в его лаборатории еще до второй мировой войны начали заниматься белками, а затем расширяли структуру двух первых белков — миоглобина (Дж. Кендрию) и гемоглобина (М. Перутц). За эту работу в 1962 г. они получили Нобелевскую премию по химии. В этой же лаборатории над структурой ДНК работали Ф. Крик и Дж. Уотсон, и в том же 1962 г. получили Нобелевскую премию по медицине.

Вскоре на окраине Кембриджа в конце Хиллз роуд, на которой, впрочем, нет никаких холмов (hills), создается Лаборатория молекулярной биологии, получающая затем всемирную известность. Директором лаборатории становится Перутц, там же работают Кендрию, Крик и другие впоследствии всемирно известные ученые. В этой сравнительно небольшой лаборатории, сложилась в то время столь ценная для ученых творческая обстановка, когда им интересно работать, они забывают о времени, увлечены именно творческим процессом. А. Круг попадает в структурный

отдел лаборатории и вскоре завоевывает в ней признание. Во всяком случае, уже в 1966 г., когда молодые ученые обсуждали, кто же в лаборатории наиболее талантлив, они сошлись на Ф. Крике, А. Круге и биохимике С. Бреннере.

У А. Круга прекрасное физическое мышление, он великолепно владеет химией и математикой. Все это позволяет ему быть кристаллографом экстра класса. В Лаборатории молекулярной биологии он мало занимается непосредственно экспериментом. Вместе с тем он сделал огромный вклад именно в создание новых экспериментальных методов обработки данных электронной микроскопии. Есть очень немногие ученые, которые так глубоко, как А. Круг, понимают сущность электронномикроскопических исследований клеточных частиц, хотя авторы этой заметки не уверены, что А. Круг когда-нибудь сам получил электронномикроскопическую микрофотографию.

Анализируя данные электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа, А. Круг и Д. Каспар систематизируют в 1960 г. возможные варианты структуры вирусов с так называемыми икосаэдрическими оболочками. Одновременно они рассматривают пути, которыми эти оболочки самообразуются из одинаковых белковых молекул (субъединиц). Несколько позднее А. Круг, Д. Финч и другие проводят выдающиеся по тому времени электронномикроскопические исследования ряда сферических вирусов. При этом они пользуются хорошо известной методикой «негативного» контрастирования, когда частицы или белковый кристалл окружаются на подложке слоем сильно рассеивающего электроны вещества. Обычно в этом случае изображение на микрофотографии является как бы проекцией всей структуры.

В 1939 г. Брэгг предложил оптический аналог известного математического преобразования Фурье. Позднее этот

оптический аналог был реализован в виде нескольких типов оптических дифрактометров. В 1964 г. А. Круг и Д. Бергер впервые успешно применили один из таких приборов для анализа электронномикроскопических изображений объектов с периодической структурой. В дифрактометре изображение освещается когерентным пучком, и в соответствующей плоскости наблюдается дифракционная картина или спектр. Даже наблюдение только дифракционной картины давало существенно большую информацию о периодической составляющей объекта. Однако А. Круг значительно расширяет возможность извлечения информации. Дело в том, что если в оптическом дифрактометре использовать еще одну линзу, собирающую продифрагировавшие пучки, можно вновь реконструировать исходное изображение. А. Круг помещает в фурье-плоскости дифрактометра маску, которая пропускает только рефлексы, соответствующие периодической составляющей. В этом случае реконструируется изображение, очищенное от фона, так называемое отфильтрованное. Можно не только очищать изображение от фона, но и разделять наложенные друг на друга изображения и т. д. Эта техника была впервые реализована в 1966 г. Д. Дерозией и А. Кругом и вскоре получила всемирное признание. В Советском Союзе она используется в Институте кристаллографии и Институте биофизики АН СССР. Заметим, что в настоящее время, в связи с развитием вычислительной техники и появлением различного рода дисплеев, вновь вернулись к получению преобразований Фурье (а также и фильтрации) математическими методами.

Между тем электронная микроскопия биологических клеточных частиц продолжала развиваться, усложнилась и трактовка получаемых изображений. Назревала необходимость перехода к точному их моделированию. Понимая это, А. Круг совместно с Дерозией публикует в 1968 г. метод, который называет «трехмерной реконструкцией». Этот метод, основанный на применении так называемого двой-

ного преобразования Фурье и был реализован для объектов, обладающих симметрией. Электронномикроскопическое изображение объекта, например спиральной структуры, фактически содержит в себе не одну, а несколько ее проекций. Используя эти проекции, комбинируя их закономерным образом между собой, можно получить трехмерное изображение объекта. При использовании двойного преобразования Фурье комбинация проекций осуществляется в так называемом обратном пространстве. В оптическом дифрактометре это пространство соответствует плоскости дифракции.

Необходимо отметить, что в том же 1968 г. Б. К. Вайнштейн с сотрудниками осуществили трехмерную реконструкцию принципиально иначе — используя комбинирование проекций в прямом пространстве (в пространстве изображения). Работа была опубликована в «Докладах АН СССР». С применением разработанных алгоритмов Вайнштейном и др. в Институте кристаллографии была выполнена трехмерная реконструкция целого ряда биологических структур.

Необходимо упомянуть также появившиеся несколько позднее работы В. Хоппе (ФРГ), в которых он детально и глубоко разработал теорию трехмерной реконструкции в применении к асимметричным объектам, например к таким важным биологическим частицам, как рибосомы.

Создав собственную школу обработки электронномикроскопического изображения, А. Круг не забывает и вирус табачной мозаики. Со времени своего основания Лаборатория молекулярной биологии сильно расширилась и, может быть, несколько утратила свою неповторимость. Сменились люди. Недавно с поста директора лаборатории ушел Перутц. Вместо него этот пост занял биохимик Бреннер, человек совершенно иных взглядов. Постоянно происходит печально известная «утечка мозгов». Но в одной из комнат стоит огромная модель ВТМ, в которой воплощены результаты рентгеноструктурного анализа с очень высоким разрешением. Это —

плод работы большого научного коллектива. Сейчас А. Круга интересует, как взаимодействуют молекулы РНК с субъединицами белка. Он высказывает оригинальную концепцию о том, что спиральная палочкообразная структура вируса с внутренней полостью возникает не за счет постепенного присоединения отдельных субъединиц друг к другу. Он считает, что сначала образуются парные диски из субъединиц, которые, взаимодействуя друг с другом и с цепочкой РНК, и создают частицу ВТМ. В этом процессе для всего находится объяснение, даже для осевой полости — через нее протягивается один из концов РНК.

Изучение комплекса РНК с белком в составе вируса привело А. Круга к проблеме выяснения структуры самой РНК в растворе. Выбор объектов для этого исследования был определен в то время. Ими по многим причинам могли быть только транспортные РНК (тРНК), существование которых теоретически предсказал Крик. Они обладают сравнительно низким, примерно в 25 тыс. Д молекулярным весом, их функцию и нуклеотидную последовательность изучали в нескольких группах Лаборатории молекулярной биологии. И, наконец, тРНК чрезвычайно интересны сами по себе: участвуя во многих ключевых этапах биосинтеза белков, они ведут себя, согласно высказыванию Крика, подобно ферментам. Первые кристаллы тРНК были получены уже в 1968 г. Однако потребовалось перепробовать большое количество различных тРНК и условий их кристаллизации, в том числе кристаллизацию несколькими необычным способом в виде солей с катионным детергентом<sup>1</sup>, прежде чем удалось добиться успеха. История этой работы отмечена драматическими событиями. Исследование, особенно его последние этапы, проходило в острой конкурентной борьбе. В начале июня 1974 г. была направлена и 16 августа опубликована статья А. Круга и соавторов, описывающая с атом-

<sup>1</sup> Mirzabekov A. D., Rhodes D., Finch J. T., Klug A., Clark B. F. C. — Nature, 1971, v. 237, p. 27.

ным разрешением пространственную структуру первой нуклеиновой кислоты — фенилаланиновой тРНК. Несколько позже была направлена, но на 2 недели раньше опубликована работа, в которой группа А. Рича (США) представляла точно такую же структуру той же фенилаланиновой тРНК.

Эта работа ознаменовала открытие новой страницы в развитии наших представлений о сложной, переменной, но никак не монотонной пространственной организации нуклеиновых кислот.

В 1971 г., в разгар работы по изучению структуры тРНК А. Круг вместе с Криком заинтересовались другим, возможно еще более важным вопросом о том, каким образом генетический материал клетки ДНК упакован в клеточном ядре в конденсированных хромосомах (хроматине) в комплексе с особым типом белков — гистонами. В 1974 г. Р. Корнберг все в той же Лаборатории молекулярной биологии показал, что основной элемент периодической структуры хроматина — нуклеосомы — является специфическим комплексом 8 молекул четырех различных гистонов с примерно 150 парами оснований ДНК. С этого момента основные усилия А. Круга, Д. Финча и их сотрудников направлены на установление структуры нуклеосом

и их организации в хроматине. Были закристаллизованы как нуклеосомы, так и отдельно входящие в них комплекс гистонов. С помощью нейтронной дифракции, рентгеноструктурного анализа и обработки электронномикроскопических данных методом трехмерной реконструкции было показано, что дискообразная нуклеосома размером  $5,7 \times 10$  нм построена из клинообразного гистонового остова, вокруг которого навита ДНК в форме 1,75 витка левой суперспирали. На основании полученных в Институте молекулярной биологии АН СССР данных о линейной последовательности расположения гистонов вдоль ДНК эта модель была детализирована, и было приписано определенное положение в ней 8 молекулам гистонов<sup>2</sup>.

Параллельно этому на основании электронномикроскопического анализа хроматина А. Круг и др. предложили модель, в которой нуклеосомы плотно упаковываются в составе нити диаметром в 10 нм, и далее в хроматине она сворачивается в суперспираль с шагом в 10 нм и диаметром в 30 нм.

<sup>2</sup> Shick V. V., Belyavsky A. V., Bavykin S. G., Mirzabekov A. D. — J. Mol. Biol., 1980, v. 139, p. 491.

Предложенные модели описывают структуру нуклеосом и их укладку пока только в самой общей форме. Они безусловно будут в дальнейшем уточнены и детализированы. Однако уже сейчас эти модели позволяют приступить к решению основного вопроса молекулярной биологии многоклеточных организмов: как работает ДНК в хромосомах и что определяет тот факт, что в каждой клетке среди многих сотен тысяч генов специфически работает только часть из них. Экспрессия этих активных генов определяет своеобразие каждой клетки и слаженную работу ансамбля многих миллиардов клеток в организме. В ответе на этот вопрос видится также решение проблемы рака.

Присуждение Нобелевской премии А. Кругу за работы в области электронной микроскопии отражает важность того вклада, который внесла эта методика в развитие современной науки, в частности молекулярной биологии.

Член-корреспондент АН СССР  
Н. А. Киселев  
Институт кристаллографии им. А. В. Шубникова АН СССР  
Москва

Член-корреспондент АН СССР  
А. Д. Мирзабеков  
Институт молекулярной биологии АН СССР  
Москва

## По медицине — С. Бергстрем, Б. Самуэльссон и Дж. Вейн

Нобелевская премия по медицине за 1982 г. присуждена трем биохимикам — Суне Бергстрёму и Бенгту Самуэльссону (Швеция) и Джону Вейну (Великобритания) — за пионерскую работу по выделению и изучению простагландинов.

С. Бергстрем (Sune Bergström) родился 10 января 1916 г. в Стокгольме (Швеция). В 1943 г. окончил Каролинский институт (Стокгольм) и получил степень доктора медицины. В 1943—1947 гг. работал в Нобелевском

медицинском институте, с 1947 г. — профессор Лундского университета, с 1958 г. — профессор (с 1970 по 1977 г. — ректор) Каролинского института. Член Шведской Королевской академии, Шведской инженерной академии, Американской академии наук и искусства, иностранный член АН СССР и АМН СССР.

Б. Самуэльссон (Bengt I. Samuelsson) родился 21 мая 1934 г. в Хальмштаде (Швеция). Степень доктора медицины по-

лучил в 1960 г. в Каролинском институте (Стокгольм). С 1960 г. ассистент-профессор Каролинского института, а с 1967 г. — полный профессор Королевского ветеринарного колледжа (Стокгольм). С 1972 г. по настоящее время работает в Каролинском институте. Член Шведской Королевской академии.

Дж. Вейн (John Robert Vane) родился 29 марта 1927 г. в Голливуде (Бирмингем, Великобритания). Степень доктора химии и фармакологии получил



Б. Самуэльссон, С. Бергстрем и Дж. Вейр (слева направо) на пресс-конференции в Гарвардском университете.

в Бирмингемском университете. Работал в Оксфордском университете, а с 1973 г. он — директор Группы исследования и развития в Британском Медицинском фонде Веллкам. Почетный член многих университетов.

Основное направление работ всех трех лауреатов связано с открытием и изучением нового класса гормоноподобных биорегуляторов функций организмов человека и животных — простагландинов, тромбоксанов, простаглицлинов и лейкотриенов, объединяемых сейчас под общим названием эйкозаноиды.

К концу первой половины нашего века были заложены теоретические основы гормональной регуляции биологических функций организмов. Гормоны — это вещества, которые вырабатываются эндокринными органами животных и человека и оказывают выраженное и специфическое действие на функции других органов. Из различных эндокринных желез были выделены и изучены гормоны двух химических классов — стероидные и пептидно-белковые. Эти работы дали ключ к пониманию причин и лечению многих эндокринных заболева-

ний, привели к становлению новой отрасли медицины — эндокринологии и неоднократно удостоивались Нобелевских премий.

Открытие новых гормонов обычно начиналось с выявления биологической активности экстракта какого-либо органа. Так в 1934—1936 гг. шведский исследователь У. С. фон Эйлер обнаружил мускулоstimулирующее действие экстракта простаты и семенной жидкости. Он показал, что активность этих экстрактов связана с фракцией жирорастворимых кислот, а точнее, с веществами, названными простагландинами<sup>1</sup>.

Поскольку простагландины содержатся в тканях животных в ничтожных количествах, экспериментальная техника того времени не позволяла получать их в чистом виде и изучать химическую структуру.

Современный этап работ по простагландинам начался в 1957 г., когда С. Бергстрему из экстракта нескольких сотен тысяч семенных желез баранов удалось выделить в чистом виде и установить структуру 13 так

называемых первичных простагландинов. Эти вещества обладали необычной для биорегуляторов структурой. Они представляют собой полиокисленные ненасыщенные жирные кислоты с циклопентановым кольцом и двумя боковыми цепями и могут быть объединены в семейство родственных соединений. Эту работу С. Бергстрем начал вместе со шведским биохимиком Я. Шоваллом, занявшимся впоследствии биохимией стероидных гормонов (до простагландинов С. Бергстрем также работал в биохимии стероидов), а продолжил вместе с нынешним лауреатом Б. Самуэльссоном.

Оказалось, что простагландины имеют не только своеобразную химическую структуру, но и характеризуются чрезвычайно многообразным действием и множественностью мест синтеза в организме. Они вырабатываются практически в каждом органе, где и проявляют свою разнообразную активность. Универсальность простагландинов, отличающая их от классических гормонов, вызвала большой интерес к изучению их биохимии и в первую очередь их роли в различных биохимических процессах в организме. Следующим решающим моментом в исследовании простагландинов явилась расшировка механизма их биосинтеза. В 1964—1972 гг. С. Бергстрем и Б. Самуэльссон показали, что простагландины образуются из полиненасыщенных жирных кислот — бисгомо- $\gamma$ -линолевой, арахидоновой и эйкозопентаеновой, ранее известных как незаменимые жирные кислоты — под действием фермента простагландинсинтазы. С. Бергстрему потребовалось немало усилий, чтобы получить первые миллиграммы простагландинов. Но открытие фермента (точнее, комплекса ферментов) и субстратов биосинтеза простагландинов во многом облегчило этот трудоемкий процесс. Теперь с помощью препаративного биосинтеза можно получать граммы простагландинов. И, что еще более существенно, открывать новые типы простагландинов, изучая *in vitro* превращения их субстратов, в первую очередь арахидоновой кислоты.

<sup>1</sup> За работы по изучению активностей экстрактов органов, обнаружение норадrenalина, простагландинов и других биорегуляторов У. С. фон Эйлер был удостоен Нобелевской премии по медицине за 1970 г.

Развитию этих работ немало способствовал разработанный С. Бергстромом (совместно с Р. Рихаге) метод хромато-масс-спектрометрии сложных органических соединений, позволивший анализировать малые количества (до  $10^{-9}$  г) смесей с одновременным установлением химических структур компонент. В настоящее время хромато-масс-спектрометры, выпускаемые промышленностью, широко применяются для микроанализа смесей не только простагландинов, но и разнообразных природных и синтетических органических соединений.

В последующие годы (1972—1976) была проведена классификация простагландинов, в основу которой положена структура пятичленного цикла молекулы. С. Бергстрему принадлежит заслуга в идентификации 5 структурных типов (А — F), а Б. Самуэльссону (совместно с М. Хамбергом) — типов G и H, которые являются основными промежуточными соединениями в биосинтезе простагландинов А — F. Кроме того, они выделили так называемые тромбоксаны А и В, которые образуются через простагландины G и H в тромбоцитах.

Химическая структура простагландинов G, H и тромбоксана А оказалась очень необычной: они содержали уникальные производные гептан-2,3-диоксиабциклогептана и 2,6-диоксиабциклогептана, которые не встречались ни в одном из известных к тому времени нескольких миллионов органических соединений. Вследствие крайней нестойкости (например, тромбоксан А<sub>2</sub> существует в нейтральном водном растворе всего 2—3 минуты) эти метаболиты были получены только в виде растворов, и их структура выводилась из структуры продуктов химических превращений. Необычность структуры и нестабильность тромбоксана А<sub>2</sub> настолько велики, что синтезировать тромбоксан А<sub>2</sub> до сих пор не удается.

Тогда же в 1976 г. Дж. Вейн (совместно с Р. Григлевским), независимо изучая превращение арахидоновой кислоты гомогенатами органов, обнаружил новый простагландин, в несколько раз более ак-

тивный, чем первичные простагландины. Это соединение, названное простагландином X, или простацклином, в подкисленном растворе за 1—2 минуты теряло свою активность, что свидетельствовало о наличии в структуре кислотолабильной группировки и склонности к гидролизу. По-видимому, благодаря этим свойствам ранее было трудно обнаружить простацклин, хотя он служит основным метаболитом арахидоновой кислоты в тканях стенок кровеносных сосудов. После установления бициклической структуры простацклина и взаимосвязи с остальными простагландинами он получил название простагландина I<sub>2</sub>.

В 1979 г. Б. Самуэльссон (совместно с его канадским аспирантом П. Боржо) открыл еще один новый метаболит арахидоновой кислоты. Оказалось, что арахидоновая кислота в лейкоцитах окисляется другим ферментом, липоксигеназой. При этом образуется еще один тип биологически активных метаболитов — лейкотриены А — Е. Физиологическое действие лейкотриенов — медиаторов при аллергических реакциях и астматических приступах — было уже давно известно. Так называемые «липидный хемотаксический фактор тромбоцитов» и «медленно реагирующее вещество анафилаксии» оказались лейкотриенами В<sub>4</sub> и С<sub>4</sub> (в смеси с D<sub>4</sub> и E<sub>4</sub>). Б. Самуэльссон выделил индивидуальные лейкотриены и определил (совместно с американским химиком Е. Кори) их химическую структуру, включая крайне существенные для биологической активности детали стереохимии. Для уникальной структуры всех лейкотриенов характерно наличие сопряженного триена, который позволяет контролировать выделение этой группы веществ по характерному УФ-спектру.

Все перечисленные открытия в области метаболизма арахидоновой кислоты в организме позволяют говорить в настоящее время о каскаде метаболитов арахидоновой кислоты и о такой же универсальности этой кислоты в качестве природного субстрата, как сквалена или шикимовой кислоты. И хотя эти открытия относятся непосред-

ственно к биохимии липидов, они оказали глубокое влияние на развитие смежных областей биохимии, а также химии и медицины.

В настоящее время разработка синтезов простаноидов стала актуальной задачей органической химии. Поскольку простагландины отличаются сложной химической структурой стереохимией, сконцентрированной в циклопентановом кольце, и не имеют аналогии среди других природных соединений, выполнение этой задачи потребовало большого обилия тонких синтетических методов, ныне широко применяемых в органическом синтезе. Уже в 1968 г. американский химик Е. Дж. Кори впервые синтезировал наиболее сложный простагландин F<sub>2α</sub>, а период 1965—1975 гг. в химии природных соединений получил название «декады простагландинов». Сейчас во многих странах мира уже налажен химический синтез простагландинов в промышленном масштабе.

Простагландины и другие метаболиты полиненасыщенных жирных кислот интересны не только как уникальные химические структуры. Еще большее значение они имеют в области биохимии и эндокринологии. Чем это обусловлено? Прежде всего простагландины не обладают селективностью действия гормонов, более того, простагландины разных типов и серий нередко имеют противоположные физиологические действия. Примером, ставшим классическим, может служить антагонизм тромбоксанов и простацклина. Тромбоксан А<sub>2</sub> — естественный индуктор агрегации тромбоцитов. Синтез и выброс в плазму крови тромбоксана А<sub>2</sub> происходит при первой, обратимой стадии агрегации, вызываемой, например, тромбином, и образовавшийся при этом тромбоксан А<sub>2</sub> переводит агрегацию в необратимую, вторую фазу. С другой стороны, простацклин — мощнейший природный ингибитор агрегации тромбоцитов, и выделение его в плазму крови стенками кровеносных сосудов предохраняет их от «прилипания» тромбоцитов и образования тромбов и даже может приводить к рассасыванию уже образовавшихся

тромбов. Поскольку и тромбоксан  $A_2$ , и простаглицлин в течение нескольких минут превращаются в плазме в неактивные метаболиты, соотношение их биосинтезов в организме регулирует свертываемость и антисвертываемость крови. Этот пример показывает, что метаболиты арахидоновой кислоты (эйкозаноиды) как биорегуляторы представляют такое же обширное семейство разных по действию биорегуляторов, как, например, стероиды. Поэтому неудивительно, что изучение биохимии эйкозаноидов уже сейчас позволяет нам рассматривать многие процессы в организме на молекулярном уровне.

Так, например, нормальная родовая деятельность обеспечивается резким увеличением синтеза простаглицлинов в тканях матки к концу беременности и при родах. Именно по стимулированию сокращений гладкой мускулатуры, в особенности матки, и были обнаружены в организме простаглицлины. Простаглицлин  $F_{2\alpha}$  является лютеолитическим гормоном овцы, кролика и ряда других животных и необходим для нормального протекания полового цикла. Давно известное и используемое противовоспалительное действие аспирина и прочих салицилатов обязано своим происхождением ингибированию салицилатами биосинтеза простаглицлинов — медиаторов воспалительных реакций. Этим же объясняются кишечные кровотечения и образование язв желудка и двенадцатиперстной кишки при длительном применении противовоспалительных препаратов, поскольку нормальный синтез простаглицлинов необходим для снижения секреторной активности желудка. Избыточным образованием простаглицлинов, стимулирующих перистальтику кишечника, объясняют появление диареи при холере, дизентерии и раковых заболеваниях. Нарушение биосинтеза простаглицлина может обуславливать развитие гипертензии, атеросклероза и тромбоза.

О простагноидах известно уже многое. Свидетельством тому являются издаваемый с 1972 г. международный журнал «Prostaglandins», издающийся многоотомное из-

дание «Advances in Prostaglandin and Thromboxane Research» (название последних томов включает «...and Leukotriene...») и десяток монографий. Однако многие кардинальные вопросы еще не решены. Неясна взаимосвязь простагноидов с другими гормонами и биорегуляторами, неясен механизм действия самих простагноидов. Необычайно широкий спектр действия простагноидов связывают с их влиянием на образование в тканях циклических аденозин- и гуанозинмонофосфатов — универсальных регуляторов клеточных процессов. Именно в этом направлении (наряду с поисками все новых метаболитов арахидоновой кислоты) концентрируются сейчас исследования. И еще одно. До сих пор неясно положение простаглицлинов в иерархии биорегуляторов. Простаглицлины, рассматривавшиеся вначале просто как еще один гормон, оказались новым классом биорегуляторов, обладающих свойствами как классических гормонов, так и более универсальных, но менее селективных медиаторов клеточных реакций. Возможно, требуется пересмотр ряда наших представлений об организации биорегуляции функций организма.

В продолжение лучших традиций присуждения Нобелевских премий нынешней премией отмечено открытие, являющееся не только чисто научным достижением, но и непосредственно служащее человеку. Вскоре после того, как простаглицлины стали доступны в нужных количествах, их используют для возбуждения и поддержания родовой деятельности. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) организовала целевую Программу по применению простаглицлинов для медицинского прерывания беременности с целью регуляции рождаемости. Эта программа, одним из руководителей которой является С. Бергстрем, работает и сейчас. Простаглицлины оказались наиболее эффективными из известных средств для прерывания беременности. Особенно эффективны полученные для этой цели простаглицлины с модифицированной структурой — препараты «Сулпростон», ОНО-802,

лишенные побочных эффектов природных простаглицлинов. Чрезвычайно широки и благоприятны перспективы применения в медицине простаглицлина. Мощное антитромботическое действие простаглицлина позволяет использовать его во всех случаях, когда имеется угроза образования тромбов — при сердечно-сосудистых заболеваниях, пересадках органов, в аппаратах искусственного кровообращения. В этой сфере потенциального применения нестойкость природного простаглицлина также привела к открытию многих стабильных синтетических аналогов (карбапростаглицлины и т. п.). Большие надежды возлагаются на медицинское использование лейкотриенов и их антагонистов. Простаглицлины все шире применяются (сейчас — в миллионах доз) в животноводстве для повышения эффективности искусственного осеменения и синхронизации охоты и родов сельскохозяйственных животных, что приводит к большому экономическому эффекту в условиях индустриального животноводства.

В нашей стране в последние десять лет широко развернуты исследования по изучению и применению простаглицлинов. Этому немало способствовали неоднократные визиты С. Бергстрема в СССР, его выступления с лекциями и консультации как советника ВОЗ, а также стажировки советских специалистов в Каролинском институте и госпитале под руководством С. Бергстрема и Б. Самуэльсона.

Присуждение Нобелевской премии 1982 г. по медицине С. Бергстрему, Б. Самуэльсону и Дж. Вейну за пионерские исследования в области, в которой сейчас работают тысячи ученых во всем мире, подчеркивает исключительный по объему и значимости личный вклад лауреатов в открытие еще одной яркой страницы в познании жизни.

Академик АМН СССР  
Н. А. Юдаев

К. К. Пивницкий,  
кандидат химических наук

Институт экспериментальной эндокринологии и химии гормонов АМН СССР

## Космические исследования

## Запуски космических аппаратов в СССР (август — октябрь 1982 г.)

В августе — октябре 1982 г. в Советском Союзе было запущено 27 космических аппаратов, в том числе 21 спутник серии «Космос» с научной аппаратурой, предназначенной для продолжения исследований космического пространства. На «Космосе-1401 и -1406» установлена научная аппаратура для продолжения исследований природных ресурсов Земли в интересах различных отраслей народного хозяйства СССР и международного сотрудничества. Информация с них поступает в Государственный научно-исследовательский и производственный центр «Природа» для обработки и использования.

«Космос-1413, -1414 и -1415», выведенные на орбиту одной ракетой-носителем, предназначены для отработки элементов и аппаратуры космической навигационной системы, с помощью которой будет определяться местонахождение самолетов гражданской авиации и судов морского и рыболовного флотов Советского Союза.

Транспортный корабль «Союз Т-7» доставил на орбитальную научную станцию «Салют-7» экипаж в составе Л. И. Попова, А. А. Сереброва и С. Е. Савицкой. Члены краткосрочной экспедиции вместе с основным экипажем станции провели на орбите запланированные исследования и эксперименты и 27 августа 1982 г. вернулись на Землю в спускаемом аппарате космического корабля «Союз Т-5»<sup>1</sup>.

Автоматические грузовые корабли «Прогресс-15» и «Про-

Космический аппарат	Дата запуска	Параметры начальной орбиты			
		перигей, км	апогей, км	наклоение, град	период обращения, мин
«Космос-1398»	3.VIII	225	262	82,3	89
«Космос-1399»	4.VIII	179	371	64,9	89,7
«Космос-1400»	5.VIII	631	675	81,2	97,6
«Союз Т-7»	19.VIII	228	280	51,6	89,5
«Космос-1401»	20.VIII	226	282	82,3	89,3
«Молния-3»	27.VIII	494	40 814	62,8	736
«Космос-1402»	30.VIII	254	279	65	89,6
«Космос-1403»	1.IX	216	380	70,4	90,2
«Космос-1404»	1.IX	211	394	72,9	90,2
«Космос-1405»	4.IX	438	456	65	93,3
«Космос-1406»	8.IX	222	253	82,3	89
«Космос-1407»	15.IX	181	364	67,2	89,7
«Космос-1408»	16.IX	645	679	82,5	97,8
«Экран»	16.IX	35 580	35 580	0,3	1 426
«Прогресс-15»	18.IX	195	258	51,6	88,7
«Космос-1409»	22.IX	613	39 340	62,8	709
«Космос-1410»	24.IX	1 500	1 522	82,6	116
«Космос-1411»	30.IX	208	384	72,9	90,1
«Космос-1412»	2.X	255	280	65	89,6
«Космос-1413, -1414, -1415»	12.X	19 100	19 100	64,8	673
«Космос-1416»	14.X	217	380	70,4	90,2
«Космос-1417»	19.X	978	1 023	83	104,9
«Горизонт»	20.X	35 800	35 800	0,8	1 437
«Космос-1418»	21.X	362	417	50,7	92,2
«Прогресс-16»	31.X	193	263	51,6	88,7

гресс-16», состыковавшиеся с орбитальным пилотируемым комплексом «Салют-7» — «Союз Т-7», соответственно, 20 сентября и 2 ноября 1982 г., доставили на станцию топливо для объединенной двигательной установки, оборудование, аппаратуру, материалы для проведения научных исследований и обеспечения жизнедеятельности экипажа, а также почту.

Очередной спутник связи «Молния-3» с бортовой ретрансляционной аппаратурой, обеспечивающей работу системы в сантиметровом диапазоне волн, запущен для продолжения эксплуатации системы дальней телефонно-телеграфной радиосвязи и передачи программ Центрального телевидения СССР на пункты сети «Орбита» и в рамках международного сотрудничества.

На очередном спутнике телевизионного вещания «Экран» (международный регистрационный индекс «Стационар-Т») установлена бортовая ретрансляционная аппаратура, с помощью которой в дециметровом диапазоне волн программы Центрального телевидения СССР передаются на сеть приемных устройств коллективного пользования.

Спутник «Горизонт» запущен на близкую к стационарной круговую орбиту в соответствии с программой дальнейшего развития систем связи и телевизионного вещания. На нем установлены усовершенствованная много-

<sup>1</sup> Подробнее о работе на станции этого экипажа см.: Природа, 1982, № 12, с. 105.

канальная бортовая ретрансляционная аппаратура для обеспечения телефонно-телеграфной радиосвязи и передачи телевизионных программ, а также необходимые служебные системы.

#### Космические исследования

### «Салют-7» с августа по октябрь

В августе—октябре 1982 г. космонавты А. Н. Березовой и В. В. Лебедев продолжали исследования на орбитальной станции «Салют-7», начатые 14 мая 1982 г.<sup>1</sup>

После разгрузки автоматического корабль «Прогресс-14» был отделен от станции; 13 августа в 5 ч 29 мин он перешел на траекторию снижения, вошел в плотные слои атмосферы над заданным районом Тихого океана и прекратил свое существование.

В сентябре — октябре 1982 г. экипаж занимался разгрузкой автоматического корабля «Прогресс-15», запущенного 18 сентября 1982 г., а 20 сентября состыковавшегося с орбитальным пилотируемым комплексом «Салют-7» — «Союз Т-7». Грузовой корабль доставил на орбиту топливо для объединенной двигательной установки, оборудование, аппаратуру, материалы для проведения научных исследований и обеспечения жизнедеятельности экипажа, а также почту. После разгрузки «Прогресс-15» был 14 октября 1982 г. отстыкован от орбитальной станции, 16 октября переведен на траекторию снижения и прекратил свое существование.

Большое место в программе работ экипажа по-прежнему занимали медико-биологические исследования и эксперименты. Космонавты систематически занимались физическими упражнениями на велоэргометре и комплексном тренажере. Специалисты по медицин-

скому обеспечению, находящиеся на Земле, вели в ходе полета постоянный контроль за состоянием здоровья космонавтов; периодически проводились специальные «медицинские» дни, когда космонавты подвергались комплексным обследованиям: исследовалась их сердечно-сосудистая система в условиях имитации действия гидростатического давления, создаваемого с помощью вакуумного костюма «Чибис», биоэлектрическая активность сердца при выполнении физических упражнений на велоэргометре, оценивалось состояние сердечно-сосудистой системы с помощью ультразвуковой аппаратуры «Эхограф», проводился ряд биохимических исследований. Для регистрации физиологических параметров использовалась многофункциональная аппаратура «Аэлита-01», «Реограф», «Бета».

Продолжалось изучение возможностей культивирования высших растений в условиях космического полета. В установках «Оазис», «Вазон», «Фитон», «Светоблок» выращивались горох, овес, лук, кресс-салат, укроп и другие растения, а с помощью установки «Магнитогравистат» изучалось влияние неоднородного магнитного поля на развитие семян льна. По сообщению космонавтов, культивируемый в установке «Фитон» арабидопсис впервые в условиях орбитального полета прошел полный цикл развития и дал семена. Изучались также динамика роста культуры ткани пшеницы и кукурузы и влияние электрического поля на развитие гороха.

Много времени экипаж уделял геофизическим экспериментам, исследованиям земной атмосферы, а также наблюдениям и фотосъемкам Земли. Выполнен очередной цикл измерений оптических характеристик земной атмосферы с использованием электронного фотометра ЭФО-1; продолжались эксперименты по изучению ионосферы Земли и оценке параметров атмосферы, непосредственно окружающей станцию, с помощью масс-спектрометрической аппаратуры «Астра-1».

В рамках обширной программы изучения природного ре-

сурсов Земли и исследования окружающей среды космонавты постоянно вели наблюдения и фотодокументирование земной поверхности, а также различных метеорологических явлений. Предыдущие пилотируемые полеты показали высокую эффективность исследований из космоса земной поверхности для определения, в частности, общих закономерностей ее структуры и более рационального планирования поисков полезных ископаемых. В ходе этих исследований использовалась фотоаппаратура МКФ-6М и КАТЭ-140, а также телевизионная аппаратура «Нива» с высокой разрешающей способностью, позволяющая делать видеозапись наблюдаемых районов и в сеансах телевизионной связи передавать оперативную информацию на Землю.

Так, по заданию специалистов космонавты сфотографировали крупные кольцевые образования и разломы земной коры в Прибалхашье, на Украине, в районе Аральского моря, на Дальнем Востоке, определяли состояние лесных массивов на Алтае, в Карпатах, Амурской области и Забайкалье, изучали ледники и наледи в горных районах страны, газоносные районы Прикаспия, исследовали образование и динамику развития пыльных бурь на территории Казахстана, Северного Кавказа, Украины и Туркмении.

Наблюдения и фотосъемки с борта «Салюта-7» позволили получить важные данные о минерально-сырьевых ресурсах страны, сезонной изменчивости сельскохозяйственных угодий и лесных массивов, а также о биологической продуктивности Мирового океана, условиях мореплавания и рыболовства.

А. Н. Березовой и В. В. Лебедев продолжали астрофизические исследования, во время которых изучали межпланетную среду, галактические и внегалактические источники излучения. С помощью рентгеновского спектрометра СКР-02М и специального блока временного анализа исследовались характеристики рентгеновского излучения объекта Лебедь X-1, переменного источника в созвездии Змееносец и Крабовидной туманности. С помощью малогаба-

<sup>1</sup> О предыдущих этапах работы на станции «Салют-7» см.: Природа, 1982, № 8, с. 103, № 11, с. 104.

ритного телескопа «Елена» измерялись потоки  $\gamma$ -излучения и заряженных частиц в околоземном космическом пространстве. Космонавты выполнили также четыре цикла фотосъемки созвездий Стрелец, Орион, Телец и Возничий, используя французскую аппаратуру ПИРАМИГ.

С 19 по 27 августа 1982 г. космонавты А. Н. Березовой и В. В. Лебедев работали вместе с членами краткосрочной экспедиции — космонавтами Л. И. Поповым, А. А. Серебровым и С. Е. Савицкой<sup>2</sup>.

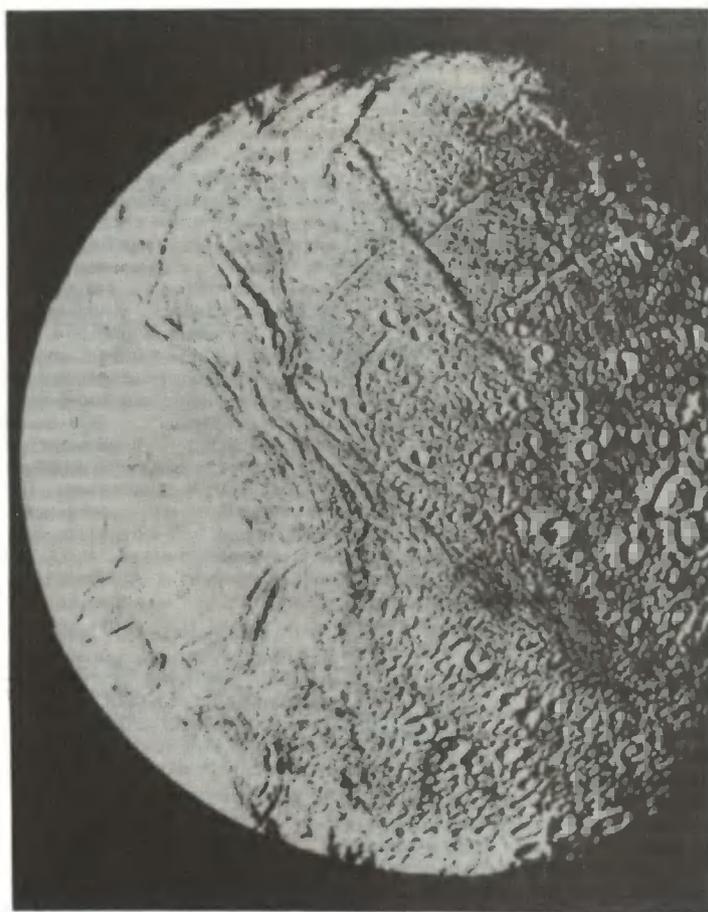
**С. А. Никитин**  
Москва

#### Космические исследования

### Ледяные «морщины» Энцелада

На первых снимках Энцелада — спутника Сатурна не было видно каких-либо деталей строения его поверхности. Большая яркость (он отражает почти 100% падающего на него света) и невысокая средняя плотность ( $1,1 \text{ г/см}^3$ ) дали основание считать, что Энцелад представляет собой шар, состоящий в основном из льда с чрезвычайно гладкой поверхностью.

Однако более детальные снимки со станции «Вояджер-2» показали, что на поверхности Энцелада не только имеются разнообразные детали рельефа, но в целом спутник поразительно похож на крупный спутник Юпитера — Ганимед, хотя диаметр Энцелада почти в 10 раз меньше — всего 500 км. Часть поверхности Энцелада покрыта кратерами различного диаметра; у многих в центре днища имеется горка, иногда занимающая почти все внутреннее пространство кратера. Возможно, эти образования связаны со своеобразным водным вулканизмом, следы которого ранее были обнаружены на Ганимеде. Другая часть поверхности Энцелада почти лишена кратеров.



Разнообразные детали рельефа на ледяной поверхности Энцелада. Снимок сделан «Вояджером-2» с расстояния 119 тыс. км.

Считается, что имевшиеся здесь кратеры уничтожены во время массовых излияний воды из недр. Застыв, вода образовала ледяные равнины, которые и были сфотографированы «Вояджером-1».

Равнинные участки Энцелада пересечены редко расположенными бороздами, уступами, цепочками кратеров и своеобразными скоплениями борозд, напоминающими по внешнему виду пучки длинных макарон. Подобные скопления борозд, названные рывтинами, впервые были обнаружены в 1979 г. на Ганимеде<sup>1</sup>. Планетологи связывают их образование с разлома-

ми коры, неоднократно заполнявшимися водой из недр. Застывая, вода расширяла зоны разлома. На Энцеладе наблюдается несколько поколений таких борозд: имеется участок, на котором остались только половинки кратеров, поскольку вторые половинки «срезаны» изборужденной местностью, на которую, в свою очередь, наложены более молодые кратеры, частично уничтоженные еще более молодыми бороздами. Подобное соотношение деталей позволяет установить последовательность геологических процессов на Энцеладе.

Voyager Bulletin, 1981, № 65, р. 2 (США).

<sup>2</sup> Подробнее об этой экспедиции см.: Природа, 1982, № 12, с. 105.

<sup>1</sup> Бурба Г. А. Юпитер и его спутники на снимках «Вояджера-1». — Природа, 1979, № 12.

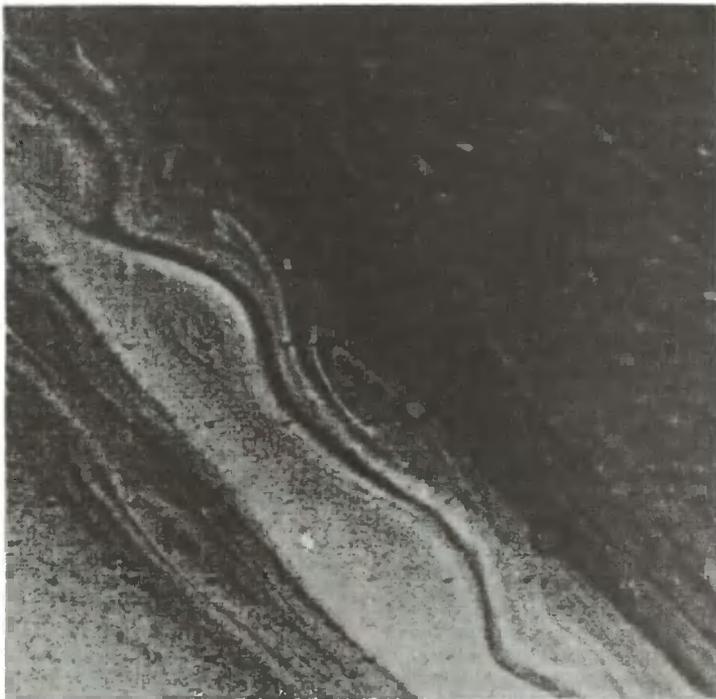
## Вихри в атмосфере Сатурна

Гигантская структура в виде изгибающейся ленты обнаружена в атмосфере Сатурна по снимкам, полученным станцией «Вояджер-2». Исследователи, входящие в группу анализа изображений, переданных «Вояджерами» (США), считают, что это образование — крупномасштабная атмосферная волна, расположенная в облачном поясе, который с высокой скоростью движется к востоку. По обеим сторонам этой темной ленты располагаются овальные вихри. По мнению исследователей, такое соседство различных атмосферных структур позволит понять процессы, протекающие в быстро меняющейся газовой оболочке Сатурна.

За девять месяцев, прошедших между съемкой Сатурна станциями «Вояджер-1 и -2», в атмосфере планеты произошел ряд изменений: рассеялась газовая дымка, сглаживавшая различия между деталями облачного слоя, распались детали, наблюдавшиеся «Вояджером-1», и возникли новые образования. Специалисты считают, что в атмосфере Сатурна нет долгоживущих деталей, подобных Большому Красному пятну Юпитера, которое существует уже около 300 лет.

Цветовые контрасты облачных деталей Сатурна более мягкие, чем на Юпитере, это связано с более однородным составом атмосферы Сатурна, в частности тех химических соединений, которые определяют окраску облачных слоев. Снимки Сатурна, полученные «Вояджерами» через различные светофильтры, позволили выделить детали строения его атмосферы, трудно различимые на обычных цветных снимках.

Температура поверхности облаков Сатурна весьма низкая — от 80 до 95 К; 89% атмосферы составляет водород, а остальные 11% почти целиком приходятся на гелий; кроме того, обнаружены микроколичества аммиака, фосфина, метана, этана, ацетилена, метилацетиле-



Темная изгибающаяся в виде ленты полоса в атмосфере Сатурна. Различимы детали поперечником до 50 км. Снимок «Вояджера-2».

на и пропана. Более низкое, чем на Юпитере (19%), содержание гелия в атмосфере Сатурна объясняют возможной концентрацией этого элемента во внутренней части планеты.

Science, 1982, v. 215, № 4532, p. 504—553 (США).

### Планетология

## Состав древней коры Венеры

Большой объем данных о геолого-геоморфологическом строении поверхности Венеры, полученный за последние годы с помощью советских и американских автоматических станций, позволил по-новому взглянуть на результаты определения химического состава горных пород, переданные станциями

«Венера-8, -9 и -10». Напомним, что с помощью этих станций определялось содержание естественных радиоактивных элементов — калия, урана и тория — в поверхностных породах в точках посадок спускаемых аппаратов. (По содержанию радиоактивных элементов можно установить химический и петрологический тип горных пород.)

К. П. Флоренский и О. В. Николаева (Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР), связав измерения, выполненные в отдельных точках поверхности, с региональной геологической обстановкой на Венере, пришли к выводу, что данные «Венеры-9 и -10» характеризуют породы горных районов планеты, а «Венеры-8» — обширной области холмистых равнин. Такие равнины, занимающие более половины всей поверхности планеты, считаются наиболее древними участками коры Венеры. В определенной степени они аналогичны лунным материкам или континентам Земли.

Горные районы Венеры по содержанию естественных ра-

диоактивных элементов соответствуют базальтам. Такие же породы характерны для областей вулканизма на Земле, Луне и Марсе. Как считают Флоренский и Николаева, холмистые равнины Венеры близки по составу не к кислым магматическим породам Земли (гранитам), что предполагалось ранее, а к средним по составу вулканическим породам щелочной серии — сиенитам, в которых повышено содержание натрия и понижено содержание кальция и магния. На Земле щелочные массивы часто образуют круговые формы (например, Хибинь). Для области холмистых равнин на Венере характерно большое число кольцевых форм неизвестного пока происхождения. Не исключена их связь с массивами щелочных пород.

Если допустить, что химический состав, определенный в точке посадки «Венеры-8», характерен для всей области древней коры Венеры, представленной холмистыми равнинами, то эта кора, подобно материковой коре Луны и «гранитной» оболочке Земли, состоит из полевого шпата. Однако на Венере кора обогащена натрием, на Луне — кальцием, а на Земле — калием. Предполагается, что разделение этих элементов на ранних стадиях геологической истории планет было связано с количеством и составом летучих соединений, которые на каждом из трех перечисленных небесных тел были различны.

В то время как состав пород, образованных в результате базальтового вулканизма, в среднем химически одинаков для Земли, Луны, Марса и Венеры, средний состав более древней коры материков индивидуален для каждой планеты.

Доклады АН СССР, 1982, т. 262, № 5, с. 1245—1249.

Физика

## Новый активный элемент спектроскопии

По мнению А. В. Вдовина, Э. М. Скока, Е. И. Уварова и П. Н. Федана (Институт физики полупроводников СО АН СССР),

предлагаемый ими метод «перестраиваемой активной среды» (ПАС), предназначенный для исследования эмиссионных спектров, может успешно дополнить методы лазерной спектроскопии поглощения.

В спектрометре вместо обычных дифракционной решетки или призмы использован полупроводниковый кристалл, способный селективно по длине волн усиливать электромагнитное излучение. Положение спектрального максимума усиления можно менять путем варьирования магнитного поля, в которое помещен кристалл. Спектр исследуемого источника излучения получают в виде зависимости интенсивности излучения от напряженности магнитного поля.

Возникает аналогия между ПАС-спектрометром и радиоприемником прямого усиления, состоящим из перестраиваемого резонансного контура, усилителя и детектора. При таком сравнении дифракционный спектрометр будет выступать в роли простейшего детекторного приемника.

По оценкам новосибирских ученых, потенциальное разрешение метода почти в 100 раз превышает разрешение лучших дифракционных спектрометров, выпускаемых промышленностью. То обстоятельство, что в оптической системе ПАС-спектрометра излучение не ослабляется, а усиливается, должно значительно сократить время записи спектров, которое, например, для приборов типа фурье-спектрометра может составлять от нескольких часов до нескольких суток.

В качестве активного элемента спектрометра использовали квантовый усилитель на полупроводниковом кристалле InSb. Из-за наличия у электронов собственного магнитного момента в энергетическом спектре полупроводника, находящегося во внешнем поле, появляются уровни, расстояние между которыми пропорционально этому полю (им отвечает противоположные направления спина электронов). В результате комбинационного рассеяния часть энергии излучения возбуждающего лазера переизлучается кристаллом в виде квантов с энергией, зависящей от напря-

женности поля, что и позволяет перестраивать длину волны излучения.

Разрешение прибора составило  $0,03 \text{ см}^{-1}$  (около 1 ГГц) в диапазоне перестройки 5,28—5,9 мкм, максимальное значение магнитного поля — примерно 15 кГс. Такое разрешение позволило зарегистрировать спектр генерации СО-лазера. Исследователи полагают, что разрешение можно улучшить еще в 10 раз за счет совершенствования параметров установки. Журнал технической физики, 1982, т. 52, № 6, с. 1126—1132.

Физика

## Междоузельная пластичность кристаллов

Как известно, в кристалле каждому атому отведено место в определенном узле кристаллической решетки. Однако имеется множество процессов, связанных с нарушением этой закономерности: идет перемещение атомов, причем некоторые из них перемещаются между узлами кристаллической решетки. Именно такой процесс происходит при внедрении остря в поверхность кристалла. Под острием возникает лунка, а атомы, ранее занимавшие ее объем, как бы впрыскиваются в кристалл, «протискиваясь» между узлами кристаллической решетки.

В Институте кристаллографии им. А. В. Шубникова АН СССР впервые экспериментально обнаружили и исследовали междоузельную пластичность кристаллов. Наиболее эффективным оказался метод микрокатодоллюминесценции. Под воздействием ускоренных электронов кристалл начинает светиться в видимой области спектра, причем около места внедрения остря в его поверхность часто возникает область наиболее интенсивного свечения, свидетельствующего о повышенном содержании междоузельных атомов (см. фотографию на первой странице обложки).

Спектральный состав этого свечения иной, чем у недеформированных областей,

поэтому из анализа спектров можно получить информацию о природе междоузельных атомов. Так удалось установить, что в кристаллах, состоящих из нескольких сортов атомов, различные атомы перемещаются по междоузлиям на разные расстояния. Иначе говоря, под воздействием механических напряжений происходит разложение химического соединения на составляющие.

**В. Н. Рожанский,**  
доктор физико-математических наук  
Москва

Физика

**Магнитное поле лазерного факела**

При исследованиях взаимодействия мощных потоков электромагнитного излучения с веществом, проводимых по программе лазерного термоядерного синтеза, было обнаружено, что лазерный факел — вспышка, возникающая на поверхности мишени под действием лазерного излучения, — может стать источником сильного магнитного поля. Например, при плотности потока лазерного излучения  $10^{13}$ — $10^{14}$  Вт/см<sup>2</sup> магнитное поле достигает 1 МГс, и оно, в свою очередь, может оказывать воздействие на процессы в плазме лазерного факела, сильно усложняя их изучение и интерпретацию.

В. А. Горбунов, А. А. Калмыков, А. И. Петрухин, В. А. Пуштарик и В. А. Рыбаков (Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР) исследовали это явление при сравнительно малых потоках лазерного излучения (до  $2 \cdot 10^9$  Вт/см<sup>2</sup>), когда обратным воздействием возникающих магнитных полей можно пренебречь. По существующим представлениям магнитное поле создается в той области плазмы, где градиенты электронной температуры и плотности не коллинеарны (т. е. скрещены). Для создания таких областей необходима генерация неоднород-

ной плазмы с градиентом плотности электронов в одном направлении и последующий подогрев ее с тем, чтобы возник градиент температуры в перпендикулярном направлении. Этого удалось достичь, облучая алюминиевые или медные мишени, помещенные в вакуум, двумя скрещенными лазерными пучками. Использовались два неодимовых лазера с длиной волны 1,06 мкм, длительностью импульса 0,5—0,6 мкс и энергией в импульсе 100 Дж.

В экспериментах исследовалось также облучение под углом к поверхности мишени. Магнитное поле регистрировалось тремя взаимноперпендикулярными катушками, позволявшими измерять все три его составляющие независимо. Магнитное поле составляло около 1—7 Гс при различных потоках лазерного излучения. Повышение давления в камере мишени приводило к уменьшению величины магнитного поля.

Как показали исследования, возникновение магнитного поля лазерной плазмы связано с развитием в факеле термоэдс, обусловленной неколлинеарностью градиентов температуры и плотности электронов. Направление поля совпадает с направлением векторного произведения этих двух градиентов.

Квантовая электроника, 1982, т. 9, № 1, с. 130—134.

Физика

**Водородные кластеры для управляемого ядерного синтеза**

Р. Бойлер и Л. Фридман [R. Beuhler, L. Friedman; Брукхэйвенская национальная лаборатория, США] разрабатывают методы контролируемого нагрева водородной плазмы для осуществления управляемой термоядерной реакции. В частности, изучается возможность нагрева плазмы путем инъекции в нее ускоренных интенсивных пучков массивных водородных кластеров. Очень важно обеспечить минимальный разброс их масс

и зарядов и, следовательно, энергии.

Недавно появилось сообщение о первом успешном эксперименте. Заряженные водородные кластеры получали при конденсации молекул водорода на «затравочные» водородные ионы. Охлажденный в гелиевом криостате до температуры 10—40 К водород с начальным давлением, которое могло меняться в интервале 100—125 мм рт. ст., расширялся сквозь миниатюрное сверхзвуковое сопло, на входе которого возбуждался коронный разряд, ионизирующий газ. Из сопла ионы водорода попадали в область расширения, где на них конденсировались молекулы H<sub>2</sub>. В результате возникали в основном однозарядные кластеры, имеющие протонную сердцевину и оболочку из молекулярного водорода. В зависимости от начального давления и температуры число атомов в кластерах менялось от 65 до 369. Разброс по массам в эксперименте оказался почти в 1,5 раза меньше аналогичной величины в случае кластеров, получаемых ионизацией первично нейтральных кластеров.

Physical Review Letters, 1982, v. 48, № 16, p. 1097 (США).

Физика

**Аномальное уменьшение скорости звука в сверхрешетках**

Внимание специалистов в области физики твердого тела привлекли новые искусственные системы — так называемые сверхрешетки. Они представляют собой очень тонкие, порядка единиц и десятков нанометров слоистые структуры, сделанные из нанесенных на подложку чередующихся слоев одинаковой толщины двух различных металлов или неметаллов. Толщина двух соседних слоев образует пространственный период сверхрешетки. Такие сверхрешетки обладают рядом новых интересных физических свойств, многие из которых еще не изучены. Недавно А. Кюни и др. (A. Kueny; Аргоннская нацио-

нальная лаборатория, США) обнаружили резкое избирательное уменьшение скорости поверхностных звуковых волн, бегущих вдоль сверхрешеток из меди и ниобия. При величине периода сверхрешетки около 2,1 нм скорость поверхностного звука падала с  $2 \cdot 10^5$  до  $1,6 \cdot 10^5$  см/с; одновременно с плюса на минус менялся температурный коэффициент электрического сопротивления (т. е. происходили изменения в электронной структуре, а следовательно и в упругости кристаллической решетки). Эксперимент выполнялся с набором сверхрешеток различных периодов: от 1 до 100 нм. Заметно скорость звуковых волн уменьшалась, начиная с периода в 10 нм; когда период составлял 1 нм, скорость звука возрастала почти до прежнего значения.

Как оказалось, эффект уменьшения скорости звука нельзя объяснить с помощью существующей теории распространения звука в плоских слоистых средах. По мнению авторов этой работы, он обусловлен изменениями в электронной структуре, возникающими, когда период сверхрешетки таков, что период «обратной сверхрешетки» (имеющей размерность волнового числа) кратен волновому числу электронов (или дырок) с энергией Ферми. В этом случае уровень Ферми (т. е. область с незанятыми состояниями) близок к экстремумам энергетической зоны. Именно в этих экстремумах часто имеет место вырождение энергетических зон и большая плотность носителей заряда.

Звуковая волна, деформируя при прохождении решетку и ее зонную структуру, снимает это вырождение и перераспределяет носители, перебрасывая их в свободные состояния. В итоге электронная структура «разрыхляется», связи между атомами ослабевают, упругость сверхрешетки уменьшается, что и проявляется в уменьшении скорости звука.

Выполненная на основе такой модели оценка периода решетки дает величину 1,8 нм, близкую к наблюдавшейся в эксперименте.

Physical Review Letters, 1982, v. 48, № 3, p. 166—169 (США).

## Лазеры в фотолитографии

По мнению специалистов фирмы «IBM», применение лазеров на эксимерах в качестве источника света в фотолитографии почти на два порядка ускоряет процесс экспонирования при получении фотошаблонов в производстве интегральных микросхем.

Чувствительность обычных фотоматериалов, от которой зависит время экспонирования, возрастает с уменьшением длины волны воздействующего излучения: для синих лучей она выше, чем для красных, для ультрафиолетовых — выше, чем для синих. Линии наиболее интенсивной генерации эксимерных лазеров лежат как раз в ультрафиолетовой области. При этом в спектре излучения лазеров, в отличие от обычных источников света, отсутствует инфракрасное излучение, вызывающее вредный нагрев фоторезиста. Другим преимуществом лазеров является возможность оптимального выбора длины волны излучения с учетом свойств используемого фоторезиста.

Помимо ускорения процесса экспонирования, применение лазеров позволяет получать изображение с разрешением до 0,5 мкм, что близко к теоретическому пределу, обусловленному дифракцией световых волн.

Американские исследователи работали с лазером фирмы «Lumonics», который давал пучок излучения диаметром 3 см. В качестве рабочего вещества использовались эксимеры XeCl, KrF и KrCl. Конкуренентоспособность нового метода существенно зависит от стоимости эксимерных лазеров: пока она во много раз превышает стоимость ламп, применяемых в фотолитографии в настоящее время.

Laser report, 1982, v. 18, № 8, p. 2 (США).

## Прогнозирование каталитической активности окисных систем

Разработка методов прогнозирования каталитической активности веществ в химических процессах — одна из важнейших задач теоретической и прикладной химии. При таком прогнозировании из группы аналогичных по своей химической природе реакций, выбирают одну, наиболее представительную, и выявленные для нее закономерности в подборе катализаторов переносят на всю группу.

В Институте органической химии им. Н. Д. Зелинского АН СССР за последнее десятилетие проведено систематическое исследование каталитической активности большого числа окислов металлов и окисных систем на основе цеолитов. Установлено, что активность окислов в основном зависит от положения в Периодической системе металла, образующего окисел, и от его валентного состояния.

Ю. С. Ходаков и Х. М. Миначев (ИОХ АН СССР) изучали активность окислов металлов в реакции гидрирования этилена. Эта реакция послужила моделью для процессов перемещения двойной связи в олефинах (бутенах), гомомолекулярного обмена и конверсии водорода, изотопного дейтериеобмена (т. е. замены водорода дейтерием) в углеводородах. Располагая данными каталитической активности окислов металлов в реакции гидрирования, исследователи смогли предсказать степень их активности и в других перечисленных реакциях. Для этого по результатам исследования активности окислов многих металлов в гидрировании этилена был составлен ряд активности окислов. Теперь, зная для изучаемой реакции значение каталитической активности лишь некоторых окислов из этого ряда, можно интерполировать ее значение для любого окисла, входящего в ряд активности.

На основании полученных результатов был сделан вывод, что все окисные катализаторы

гидрирования олефинов активны также и в реакции перемещения двойной связи в олефинах, гомомолекулярного обмена и конверсии водорода, а также изотопного дейтерообмена в углеводородах, поскольку механизмы их действия в этих процессах аналогичны и имеют ионный характер.

Известия АН СССР, сер. химич., 1982, № 1, с. 31—44.

#### Молекулярная биология

### Советский бактериальный интерферон

В 1980—1981 гг. за рубежом был осуществлен синтез активного интерферона в дрожжах и в кишечной палочке<sup>1</sup>. В 1982 г. и в нашей стране методами генной инженерии удалось осуществить синтез человеческого лейкоцитарного интерферона в клетках кишечной палочки.

Работа была выполнена совместно сотрудниками Института биоорганической химии им. М. М. Шемякина АН СССР, Института иммунологии, эпидемиологии и микробиологии им. Н. Ф. Гамалеи АМН СССР, Института молекулярной биологии и генетики АН УССР и Института вирусологии им. Д. И. Иванковского АМН СССР.

Первый этап исследований заключался в клонировании и идентификации гена человеческого лейкоцитарного интерферона. Для этого были использованы данные о структуре этого гена, полученные в период 1980—1981 гг. Изучались также штаммы кишечной палочки, которые могли синтезировать до  $10^8$  единиц интерферона на 1 л бактериальной среды.

Второй этап состоял в получении из лейкоцитов крови человека информационной РНК, кодирующей синтез интерферона. Для этого в лейкоциты был введен вирус болезни Ньюкаста — мощный стимулятор ин-

терферона, который и вызывает его продуцирование. Удельная активность полученной РНК, определенная по трансляции интерферона в ооцитах лягушки, была равна 1000—2000 ед. интерферона на 1 мкг РНК.

Затем ген интерферона с помощью плазмиды ввели в геном кишечной палочки. Контроль за синтезом интерферона в бактериях осуществляли путем анализа противовирусной активности экстрактов, полученных из этих микроорганизмов. Наблюдаемая противовирусная активность подавлялась антисыворотками к лейкоцитарному интерферону и не менялась в присутствии антител к другим видам интерферона. Это лишнее подтвердило, что в геноме бактерии был введен ген лейкоцитарного интерферона.

Таким образом, сделан важный шаг к промышленному получению сравнительно дешевого лейкоцитарного интерферона. Его широкое применение позволит врачам более успешно бороться со многими вирусными и онкологическими заболеваниями.

Доклады АН СССР, 1982, т. 262, № 3, с. 725; т. 265, № 1, с. 239.

#### Молекулярная биология

### Генная инженерия помогает исследовать сифилис

Для борьбы с любым инфекционным заболеванием необходимо изучать свойства возбудителя; для этого нужно уметь культивировать его вне организма. До сих пор *Treponema pallidum*, вызывающую сифилис, культивировать на искусственных питательных средах не научились. Поэтому было весьма затруднительно получать в необходимых количествах антигены возбудителя этого заболевания для изучения их биологических свойств.

А. Уолфилд, Ф. Ханф и М. Ловет (А. Wallfield, Rh. Hanff, M. Lovett; Институт молекулярной биологии и отдел микробиологии и иммунологии Калифорнийского университета, США) использовали методы

генной инженерии для получения антигенов *Tr. pallidum*. Участок ДНК из чистого, подвижного, вирулентного штамма возбудителя сифилиса ввели в геном колифага (бактериофага, специфического для кишечной палочки), который далее поместили для размножения в кишечную палочку. В результате были получены цепочки полипептидов, представляющие собой антигены *Tr. pallidum* с молекулярными весами 46 тыс., 43 тыс., 38 тыс., 24 тыс., 23 тыс., 20 тыс. и 18,5 тыс. Д. Все они вступили в реакцию с сыворотками, содержащими противосифилитические антитела, а их молекулярные веса соответствовали антигенам, полученным из *Tr. pallidum* химическим путем.

Итак, найден сравнительно удобный способ получения в достаточных количествах антигенов возбудителя сифилиса, которые могут быть использованы как для изучения заболевания, так и для получения вакцины против него.

Science, 1982, v. 216, № 4545, p. 522—523 (США).

#### Биохимия

### Полная аминокислотная последовательность зрительного родопсина

Родопсин, или зрительный пурпур, — светочувствительный белок мембран фоторецепторных дисков зрительной клетки. Предполагается, что при поглощении света хромофором родопсина происходит его фотоизомеризация в более устойчивый транс-ретиналь; это, в свою очередь, вызывает целый ряд сложных превращений, приводящих в итоге к возбуждению зрительного нерва. Родопсин состоит из одной полипептидной цепи и двух ковалентносвязанных олигосахаридных цепей. Функциональную роль и механизм действия родопсина нельзя понять без детальной информации о строении и пространственной организации его полипептидной цепи.

Группа исследователей под руководством Ю. А. Овчинникова (Институт биоорганиче-

<sup>1</sup> Подробнее об этом см.: Природа, 1981, № 1, с. 114; № 4, с. 110; № 7, с. 109; 1982, № 4, с. 110.

ской химии им. М. М. Шемякина АН СССР) установила полную аминокислотную последовательность полипептидной цепи зрительного родопсина, применив методические приемы и подходы, ранее разработанные ими при исследовании полипептидной цепи бактериородопсина — родопсиноподобного глобулярного белка, синтезируемого *Halobacterium halobium*<sup>1</sup>.

Установлено, что полипептидная цепь макромолекулы родопсина состоит из 347 аминокислотных остатков (молекулярная масса 38 850 Д). Сравнительный анализ протяженных последовательностей гидрофобных аминокислот в полипептидных цепях родопсина и бактериородопсина позволил предложить схему упаковки макромолекулы родопсина в мембране.

Установление первичной структуры полипептидной цепи макромолекулы родопсина — важный этап в выяснении структурных основ функционирования этого белка в процессах зрительного возбуждения.

Биоорганическая химия, 1982, т. 8, № 7, с. 1011—1014.

#### Биохимия

### Интерферон защищает лейкоциты человека от быстрых нейтронов

Интерферон — белок, вырабатываемый лейкоцитами и фибробластами человека в ответ на вирусную инфекцию, является эффективным противовирусным препаратом. Группа исследователей под руководством Г. Д. Засухиной (Институт общей генетики АН СССР и Московский инженерно-физический институт) в 1980 г. обнаружили способность интерферона защищать клетки куриных эмбрионов от последствий воздействия ультрафиолетового и  $\gamma$ -излучения, а также этиленмина; после обработки клеток интерфероном частота индуцированных мутаций снижалась в

2—3 раза по сравнению с контролем.

Недавно те же авторы установили, что интерферон способен защищать лейкоциты человека от воздействия быстрых нейтронов. Лейкоциты культивировали *in vitro* в присутствии интерферона и затем облучали быстрыми нейтронами с дозой 2 Гр (мощность дозы облучения  $8 \cdot 10^{-3}$  Гр/с). Действие быстрых нейтронов на лейкоциты обычно вызывает образование значительного числа клеток с множественными повреждениями хромосом; предварительная же обработка лейкоцитов интерфероном снижала число мутаций до уровня контрольных клеток, обработанных интерфероном и не подвергавшихся облучению. По мнению авторов, защитное действие интерферона обусловлено его способностью активировать гены, которые осуществляют синтез ферментов, восстанавливающих поврежденные участки молекулы ДНК.

Доклады АН СССР, 1982, т. 264, № 5, с. 1250—1252.

#### Медицина

### Полимер восстанавливает кровообращение у собак при сильной потере крови

С. С. Григорян, М. В. Каменева, Б. С. Соловьев и др. (Институт механики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова и Институт сердечно-сосудистой хирургии им. А. Н. Бакулева АМН СССР) разрабатывают метод восстановления кровообращения при значительной потере крови. Метод основан на введении в кровь животного раствора полимера, снижающего гидродинамическое сопротивление крови<sup>1</sup>.

У собак вызывали сильное кровотечение: объем выпущенной из артерии крови составлял 36—57% от объема циркулирующей крови. Затем животным внутривенно вводили раствор полиэтиленоксида, кон-

центрация которого в крови составляла  $10^{-5}$  г/мл. После введения полимера все гемодинамические параметры, даже у животных с потерей крови более 50%, возвращались к норме, состояние животных улучшалось, а кровообращение восстанавливалось быстрее, чем у контрольных животных, которым раствор полимера не вводили. По мнению авторов работы, введение в кровеносную систему незначительного количества полиэтиленоксида приводит к снижению периферического сопротивления сосудистой сети, а это способствует вовлечению в циркуляцию депонированной крови, что и проявляется в быстром восстановлении гемодинамических показателей.

Доклады АН СССР, 1982, т. 264, № 5, с. 1106—1108.

#### Медицина

### Участвуют ли вирусы в развитии шизофрении?

Существует много гипотез, объясняющих происхождение шизофрении; в частности, предполагается, что в развитии этого заболевания участвуют вирусы. Однако до сих пор причины возникновения шизофрении неизвестны.

Недавно появились сообщения, что у больных шизофренией обнаружены антитела к цитомегаловирусу, вызывающему заболевание внутренних органов у людей и животных (относится к группе герпетовирусов). Этот вирус, действительно, обладает рядом свойств, делающих его подходящим кандидатом на роль агента, способного в той или иной степени участвовать в развитии шизофрении. Так, он предпочитает размножаться в нервной ткани и вызывает долго тянущийся инфекционный процесс.

Е. Террей с коллегами (E. Terrey, госпиталь св. Елизаветы, Вашингтон, и отделение детских инфекций отдела педиатрии, Балтимор, США) исследовали присутствие антител к цитомегаловирусу в спинномозговой жидкости 178 больных ши-

<sup>1</sup> FEBS Letters, 1979, v. 100, p. 219—224; Methods in Enzymology, 1982, v. 88, p. 723—729.

<sup>1</sup> Доклады АН СССР, 1978, т. 241, № 2, с. 316.

зофренией, а также у 41 здорового человека. (Дополнительным контролем служили 17 больных циклотимией и 11 больных другими психическими заболеваниями, а также 79 неврологических больных.) Больные шизофренией были людьми разного возраста — от 17 до 68 лет — с разной длительностью заболевания. Для выявления антител применили весьма чувствительный иммунологический метод, использующий фермент пероксидазу.

Результаты исследований выявили присутствие вирусного антигена в спинномозговой жидкости 20 больных шизофренией и у 3 человек из 17 больных циклотимией. У остальных больных и у здоровых людей антитела к вирусу обнаружены не были. По клиническим признакам больные шизофренией, у которых были обнаружены антитела к цитомегаловирусу, ничем не отличались от тех больных, у которых антитела найдены не были.

В последнее время с участием вирусов стали связывать развитие ряда заболеваний нервной системы, в частности рассеянный склероз, болезнь Паркинсона, болезнь Альцгеймера и др. Обнаружение антител к цитомегаловирусу не только у больных шизофренией, но и у больных циклотимией объяснимо, так как один и тот же вирус иногда способен вызывать различные заболевания; примером может служить вирус простого герпеса. Возможно, последующие исследования позволят более полно определить место цитомегаловируса в развитии психических заболеваний.

Science, 1982, v. 216, № 4548, p. 892—894 (США).

#### Цитология

### Клетки рака у мышей сохраняют способность к дифференцировке

В процессе прогрессивного развития опухоли способность составляющих ее клеток к дифференцировке (т. е. образо-

ванию разных типов клеток, имеющих характерное строение и специализирующихся на выполнении определенной функции) подавляется. Поэтому опухоль в массе часто представляет собой популяцию довольно однородных быстроразмножающихся клеток. В связи с этим возникает вопрос: теряют ли клетки опухоли способность к дифференцировке окончательно или она сохраняется, но не проявляется?

Данные, свидетельствующие о сохранении у клеток асцитного рака Эрлиха<sup>1</sup> способности к дифференцировке, получены В. А. Шуклиновым и В. Р. Шуминой (Институт проблем онкологии им. Р. Е. Кавецкого АН Украинской ССР).

В экспериментах использовались однослойные культуры рака Эрлиха. Клетки опухоли, выращиваемые на подложке из убитых рентгеновскими лучами мышинных фибробластов с добавлением обычной питательной среды, представляли собой быстроразмножающуюся популяцию из полигональных и небольшого числа вытянутых клеток без видимых признаков дифференцировки.

В культурах с повышенным содержанием сыворотки через 16—18 ч выращивания без смены питательной среды при температуре 37°C появлялись дифференцированные клетки различных типов. Среди них отмечены зрелые формы так называемых пеннстых, перстневидных, миеэпителиальных и других типов, характерные для нормальной ткани молочной железы у мышей. В цитоплазме некоторых из перечисленных типов клеток выявлялись жировые включения. Да и в целом стимулированная к дифференцировке культура напоминала ткань молочной железы, хотя в ней не было молочных ходов. Отсутствие последних можно объяснить, по-видимому, недостаточными

для этого условиями при культивировании клеток в виде монослоя.

Доклады АН СССР, 1982, т. 262, № 1, с. 222—225.

#### Микробиология

### Бактерии накапливают серебро

Ф. Пулей (F. Pooley; Университет в Кардиффе, Великобритания) исследовал процесс окисления смешанной культурой тионовых бактерий (*Thiobacillus ferrooxidans* и *Thiobacillus thiooxidans*) некоторых сульфидных минералов, содержащих небольшие (следовые) количества серебра. Оказалось, что многие бактериальные клетки покрываются при этом некими частицами. В электронный микроскоп можно наблюдать, как эти частицы прикрепляются к наружной оболочке бактерий; в зависимости от этапа развития бактериальной частицы могут быть либо одиночными, либо в виде скоплений различной формы и размера. Специальный микроанализ химического состава частиц показал, что они содержат два элемента — серебро и серу в соотношении, соответствующем формуле сульфида серебра ( $Ag_2S$ ).

Количество серебра, накапливаемого тионовыми бактериями, зависело от его концентрации в исходном сульфидном минерале и часто было довольно значительным (до 250 мг на 1 г биомассы бактерий). Накопление серебра не тормозило роста бактерий и не снижало их метаболической активности.

В последующих экспериментах было установлено, что у тионовых бактерий, активно окисляющих сульфидные минералы без примеси серебра, частицы сульфида серебра появлялись только после искусственного добавления в среду серебра в растворимой или нерастворимой формах. У тионовых бактерий, растущих на сульфатных минералах даже с примесью небольшого количества серебра, такие частицы не обнаружены.

<sup>1</sup> Рак Эрлиха — спонтанно возникшая в 1905 г. у мыши опухоль молочной железы и с тех пор искусственно пересеваемая.

Таким образом, для формирования тионовыми бактериями частицы сульфида серебра необходимо наличие сульфидных анионов и катионов серебра. Однако сам механизм образования и накопления таких частиц остается пока неясным. Неизвестны и причины предпочтительного формирования частиц на бактериальных оболочках.

Предполагается, что способность тионовых бактерий к накоплению серебра из сульфидных минералов найдет практическое применение для выделения этого ценного элемента.

Nature, 1982, v. 296, № 5858, p. 642—643 (Великобритания).

#### Микробиология

### Роль митохондрий в развитии рака

Д. Уилки и Дж. Эванс (D. Wilkie, J. Evans; отдел ботаники и микробиологии университетского колледжа в Лондоне, Англия), основываясь на ряде экспериментальных наблюдений, выдвинули гипотезу, согласно которой в развитии рака важную роль могут играть митохондрии. К такому выводу они пришли в результате работы на клетках дрожжей, которые, как известно, сами не превращаются в злокачественные, но представляют удобную модель для исследования эвкарриотической клетки.

Вначале были обнаружены факты, как-будто не имеющие отношения к канцерогенезу. Так, было установлено, что определенные мутации в клетках дрожжей (так называемые *petite*-мутации, приводящие к уменьшению размеров колоний дрожжей на чашках Петри), при которых удаляется значительная часть митохондриальной ДНК, вызывают изменения клеточной поверхности. Такого рода эффект, видимо, связан с ядерными генами: мутационное изменение митохондрий за счет не раскрытого пока механизма влияет на ядерные гены, контролирующее образование компонентов клеточной оболочки или

плазменной мембраны. В этом регуляторном эффекте важную роль выполняют ионы  $Ca^{2+}$ . На дрожжах связь такого рода была исследована наиболее подробно; немногочисленные пока эксперименты на животных подтвердили, что такой же механизм реализуется и у других эвкарриотических организмов.

Другая группа наблюдений, проведенных на дрожжах, уже более прямо связана с развитием рака. Различные по своей химической структуре канцерогены оказывают весьма выраженное влияние на некоторые функции митохондрий. Так, этинин, тиоцетамид, этилтиомочевина и другие канцерогены эффективно подавляют синтез белка в митохондриях. Многие канцерогены резко увеличивали частоту появления *petite*-мутаций у *Saccharomyces cerevisiae* и т. д. Другими словами, многие химические канцерогены обладают выраженной антимитохондриальной активностью.

На основе этих фактов делается предположение, что канцерогены, проникая в митохондрии, могут вызывать мутации митохондриальной ДНК, что, в свою очередь, нарушает строение внутренней мембраны митохондрий (митохондриальная ДНК кодирует образование полипептидов, образующих внутреннюю митохондриальную мембрану). Это, за счет неизвестного пока механизма, влияет на функционирование ядерных генов, ответственных за образование клеточной поверхности. Изменения клеточной поверхности могут стать начальным этапом неопластической трансформации и привести к злокачественному перерождению клеток.

Авторы гипотезы не утверждают, что она должна быть справедлива для всех типов злокачественного перерождения. Однако такая гипотеза может существенно расширить наши представления о механизме возникновения некоторых типов рака и создать предпосылки для разработки новых методов его лечения.

Trends in Biochemical Society, 1982, № 4, p. 147—151 (Голландия).

#### Психофизиология

### Управление физиологическими функциями методом обратной связи

В последние 10 лет все более популярным методом управления физиологическими функциями становится метод обратной связи. Он заключается в том, что человек научается регулировать ту или иную функцию, если в каждый момент времени ему известна величина этой функции. Так, при обучении саморегуляции тонуса мышц черепа (затылочной, лобной) человеку в наушники предъявляют щелчки, частота которых тем больше, чем более напряжены эти мышцы; дается задание уменьшить частоту щелчков. У большинства лиц именно этот метод позволяет добиться высокой степени расслабления, помогая снять головные боли, ослабить чувство напряженности и т. д.

Однако у 30% людей метод обратной связи оказался неэффективным. Анализу причин этого посвящена серия исследований австралийских психофизиологов П. Кволз и П. Шихана (P. Qualls, P. Sheehan; Квинслендский университет)<sup>1</sup>. Они использовали психологический тест на «погруженность», разработанный американским психологом А. Теллегеном (A. Tellegen). «Погруженность» означает сосредоточенность на внутренних переживаниях — в противоположность внешней, целенаправленной практической ориентации. Выяснилось, что лица, умеющие использовать обратную связь для расслабления мышц, обладают низким уровнем «погруженности», не умеющие — высоким. По мнению авторов, необходимо следить за внешним сигналом обратной связи мешает людям с высокой «погруженностью» использовать характерные для них способы саморегуляции. Когда таким людям давали инструкцию, стимулирующую воображение, способность к расслаблению в ситуации обратной связи у них резко

<sup>1</sup> J. Exptl. Psychol., 1981, v. 110, № 2, p. 204.

ко увеличивалась. Их самоотчеты показывают, что сигнал (щелчки) из помехи превращаются для них в опору: в своем воображении они «слышат» песню или «видят» танец, ритм которых соответствует ритму щелчков; произвольно замедляя «мелодию», они тем самым замедляют и ритм щелчков, а в итоге расслабляют свои мышцы<sup>2</sup>.

Комментируя результаты австралийских ученых, автор методики «погруженность» дал им несколько иную интерпретацию<sup>3</sup>. По его мнению, дело не столько в направлении внимания (на внутренний мир или на внешний сигнал), сколько в том, что процессы «переживания», выявляемые его методом, несовместимы с целенаправленной практической деятельностью; последняя несвойственна людям с высокой «погруженностью». Упражнение с обратной связью у таких лиц неэффективно именно потому, что оно требует целенаправленной активности, а не потому, что оно переключает внимание от внутренних раздражителей к внешним, как считают Кволз и Шихан.

Однако, независимо от интерпретации, остающейся в любом случае спекулятивной, Кволз и Шихан нашли фактор (черту личности), определяющий способность использовать обратную связь для саморегуляции, и выявили условия, при которых люди с «неблагоприятными» индивидуальными особенностями также могут достичь хороших результатов.

**Б. И. Кочубей**

Москва

#### Физиология

### Как котята находят свой дом

**В. С. Луцкекин** (Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии АН СССР) изу-

чал способность котят первого месяца жизни находить дорогу домой.

Опыты проводились с котятами (около 60) в возрасте от 1 до 30 дней. Котят перенесли из деревянного ящика, служившего гнездом, на расположенную рядом площадку с подвешенным полом, позволявшим регистрировать их движения. Чтобы исключить возможность ориентации по градиенту температуры и запаху собственного следа, установили с помощью инфракрасной лампы постоянную температуру по всей площадке, а после каждой пробы проводили дезодорацию площадки. Тем не менее стремление найти свое гнездо возникало, как обычно, на 3—5-й день жизни, а успешность его нахождения достигала максимума на 18-й день.

Для выяснения роли слуховой стимуляции устанавливали в гнезде магнитофон и воспроизводили два типа звуков, издаваемых кошкой: мурлыканье, которое обычно сопровождается кормлением и умыванием котят, и призывное мяуканье. При этом успех поиска гнезда возрастал начиная с 10-го дня жизни (слух у котят появляется на 2—5-й день). Поскольку дезодорация площадки не устраняла запаха гнезда, для проверки роли обоняния котят в ряде опытов вводили в нос раствор сернистого цинка, что вызывает временную потерю обоняния. В этих случаях поиск дома отсутствовал до 15-го дня жизни, когда котята уже начинают пользоваться зрением. Однако если при выключенном обонянии котятм представляли звуки кошки, поиск гнезда начинался в первые же дни жизни и к 12-му дню становился весьма успешным.

Во всех случаях котята переставали стремиться к дому начиная с 18—20-дневного возраста. К 30-му дню мурлыкающие звуки перестают влиять на котенка, хотя мяуканье (возможно, являющееся сигналом опасности) и в этом возрасте вызывает интенсивный поиск гнезда. Развитие зрительной функции после 15—20 дней жизни снижает интенсивность и успешность поиска. Зрение, по мнению автора, делает необя-

зательным возвращение домой: при отсутствии сигнала опасности котенок спокоен, если гнездо находится в его поле зрения.

Итак, стремление котенка к дому обусловлено двумя факторами: звуками, издаваемыми матерью, и запахом гнезда.

Журнал высшей нервной деятельности, 1981, т. XXXI, вып. 6, с. 1171—1179.

#### Биология

### Нетравмирующее мечение дельфинов

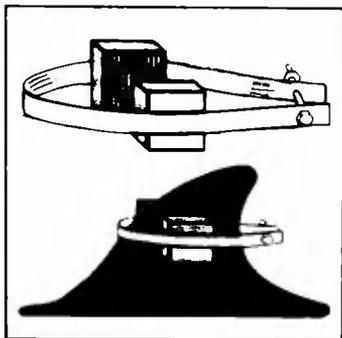
Мечение — один из наиболее надежных и эффективных способов изучения жизни различных животных. С его помощью получают информацию о возрасте отдельных особей, о перемещениях и путях миграции целых популяций, о динамике и периодических явлениях в жизни видов. Особенно широко применяется мечение китообразных, обладающих большой подвижностью и ведущих скрытый образ жизни. Из всех морских млекопитающих самой трудной группой для мечения оказались дельфины.

В настоящее время за рубежом применяется 4 способа мечения дельфинов: метками-гарпунчиками толщиной с макаронину и длиной до 30 см, выстреливаемыми в плавающих на свободе животных; светлыми пластиковыми кружками, которые прикрепляют с помощью болта на спинной плавник отловленных дельфинов; миниатюрными радиопередатчиками весом около 170 г, закрепленными на спинном плавнике; нанесением клейма переохлажденным металлом. Наблюдения за мечеными животными ведутся либо визуально, либо с применением пеленгирующих устройств. К сожалению, собранная при этом информация не вполне достоверна: все упомянутые способы наносят те или иные травмы — ранения, порезы, проколы, ожоги, и животные под их воздействием на какое-то время изменяют свое поведение.

**А. Т. Томилин, Я. И. Ближнюк и А. В. Занин** (Всесоюзный сельскохозяйственный ин-

<sup>2</sup> J. Personal. and Soc. Psychol., 1981, v. 41, No 2, p. 370.

<sup>3</sup> J. Exptl. Psychol., 1981, v. 110, No 2, p. 217.



Зажимное устройство для мечения дельфинов и его положение на спинном плавнике.

ститут заочного образования, Балашиха Московской области) предложили новый, нетравмирующий способ нанесения меток. Он основан на демеланизации (отбеливании) участков кожи, на которые воздействует специальный давящий трафарет метки. На использование такого способа натолкнуло наблюдение, что шрамы на теле китов и дельфинов от укусов акул, царапины от льда и грунта и другие повреждения приводят к демеланизации травмированных участков, причем эти белые пятна сохраняются весьма длительное время.

Новый способ был опробован на содержащихся в океариуме черноморских афалинах (*Tursiops truncatus*). На обеих плоскостях спинного плавника специальным зажимом укреплялись трафареты меток, изготовленные из плотного пенопласта. Зажим в виде огибающей плавник металлической полосы обеспечивал регулируемое давление на эпидермис в диапазоне от 1 до 8 кг/см<sup>2</sup>. Трафареты представляли собой набор разнообразных фигур и цифр. Одна группа животных носила трафарет 19 ч, другая — 7. Дельфины переносили давление трафаретов спокойно, не пытались освободиться от них. Процесс демеланизации у первой группы животных длился четверо суток; у второй группы рисунок не проявился — время ношения трафарета оказалось недостаточным.

Предложенный способ мечения экономичнее по срав-

нению с существующими, легко применим и позволяет получать хорошо различимую метку, сохраняющуюся на теле животного пожизненно.

Доклады АН СССР, 1982, т. 264, № 3, с. 766—768.

#### Зоология

### Хищничество летучих мышей и звуковые сигналы амфибий

Хорошо известно значение специфических акустических сигналов — так называемых брачных хором — бесхвостых амфибий в их брачном поведении: крики самцов привлекают самок к местам размножения. Однако зоологи давно предполагали, что животные, столь явно себя обнаруживающие, должны быть более уязвимы для хищников.

М. Татл и М. Райян (M. Tuttle, M. Ryan; Корнеллский университет, США), наблюдая на о-ве Барро-Колорадо в Панаме за охотой бахромчатогубых летучих мышей (*Trachops cirrhosus*) на лягушек (*Physalaemus pustulosus*), установили, что летучие мыши во время охоты ориентируются на брачные крики лягушек.

Эти наблюдения были подтверждены экспериментально. Оказалось, что летучие мыши не просто реагируют на любые голоса лягушек: они тонко различают, например, крики съедобных лягушек и «песни» ядовитой жабы *Bufo typhonius*. Когда летучим мышам воспроизводили звуковые сигналы с разными параметрами, выяснилось, что число бросков на добычу увеличивается с повышением частоты и интенсивности звуков, издаваемых теми амфибиями, которыми эти хищники обычно питаются. Голоса ядовитых, явно несъедобных амфибий или же слишком крупных, таких как *Leptodactylus pentadactylus*, вызывали значительно более слабую реакцию.

Описанные факты говорят о своеобразии путей эволюции звуковых сигналов бесхвостых амфибий, во всяком случае в

неотропической области. Селективные преимущества брачных криков, повышающих вероятность встречи половых партнеров, при этом сбалансированы возрастающим риском стать добычей хищника.

Science, 1981, v. 214, № 4521, p. 677—678 (США).

#### Этология

### Групповое поведение акул

Крупные океанические акулы никогда не считались стайными рыбами. Но в 1977 г. в Мексиканском заливе, у побережья американского штата Техас, наблюдалось уникальное явление: у поверхности воды на протяжении 24-километровой прибрежной зоны сконцентрировалось более 2 тыс. акул самых разных размеров и видов. При этом они явно не проявляли агрессивности по отношению друг к другу и окружающим. Этот факт и послужил поводом для проведения в последующие годы надводных и подводных наблюдений за формированием акулами групп и их поведением в этих группах.

Наиболее интересные результаты получены А. Клаймили (A. Klimley; Скриппсовский океанографический институт, Ла-Холья, штат Калифорния, США), изучавшим в течение одного летнего месяца поведение трех групп акул-молотов (*Sphyrna lewini*) в Калифорнийском заливе.

Эти группы насчитывали от 50 до 225 разноразмерных особей обоего пола. Длина акул в группах колебалась от 0,9 до 3,4 м, в среднем — 1,7 м. Стаи акул были довольно плотными и держались на глубине 0,6—23 м, в среднем — около 10 м от поверхности воды. В стаях доминировали самки: их число в 2,7 раза превосходило число самцов. Наблюдались довольно строгая иерархия внутри стай и суточная ритмика в поведении как отдельных особей, так и стай в целом.

Для объяснения причин образования стай акулами-молотами автор выдвигает ряд пред-

положений: акулы группируются для спаривания (неясно, однако, почему во всех стаях присутствуют и неполовозрелые особи); группы формируются для защиты от врагов; по аналогии со стайными костистыми рыбами, в группах акул, вероятно, легче плавать — требуется меньше энергетических затрат; акулы образуют стаи в целях более эффективного поиска и добычи пищи.

Результаты наблюдений заставляют критически пересмотреть некоторые укоренившиеся точки зрения на поведение и взаимоотношения акул.

Fishery bulletin, 1981, v. 79, № 2, p. 356—360; Oceanus, 1981/82, v. 24, № 4, p. 65—71 (США).



Фрагменты черепа и бедренной кости гоминида, жившего 4 млн лет назад. На заднем плане слева — череп современного человека, справа — современного шимпанзе.

ход от обезьяноподобных предков к прямоходящим гоминидам.

New Scientist, 1982, v. 95, № 1315, p. 222 (Великобритания).

Палеоантропология

**О древности прямохождения**

Экспедиция, возглавляемая Дж. Кларком и Т. Уайтом (G. Clark, T. White; Университет штата Калифорния в Беркли, США), обнаружила в долине реки Аваш (северо-восточная Эфиопия) ископаемые остатки древнейшего примата, позволяющие, по-видимому, отодвинуть время появления гоминид с 3,6—3,7 до 4 млн лет назад.

Район находки расположен в 70 км к югу от места, где в 1979 г. палеонтолог Д. Иохансен (D. Johansen; ныне — директор недавно созданного в Беркли Института происхождения человека) обнаружил остатки «Люси» — почти полный скелет афаренского австралопитека. Особенности его строения показывают, что гоминиды, уже овладевшие прямохождением, все еще имели мозг сравнительно небольших размеров. Тогда подобное утверждение частью антропологов было встречено скептически.

Новая находка представляет собой часть бедренной кости и фрагменты черепа. Возраст этих остатков, определенный по калий-аргоновому методу, близок к 4 млн ± 100 тыс. лет.

Измерения фрагментов черепной коробки позволили

установить, что размер мозга был немногим меньше мозга современного нам шимпанзе. Бедренная кость принадлежала, по-видимому, другой особи. Это был самец ростом 135 см, несомненно передвигавшийся на двух конечностях.

После находки «Люси» развернулась дискуссия, в ходе которой палеоантрополог Р. Лики (R. Leakey; директор Кенийского национального музея в Найроби) утверждал, что гомо возник еще до австралопитека афаренского, а «Люси» представляет собой не более чем боковую ветвь на генеалогическом древе человека. Иохансен же видел в «Люси» и во всех австралопитеках афаренских прямого предка человека, несмотря на малый объем их черепа.

Находка Кларка и Уайта знаменательна не только тем, что служит подтверждением существования прямоходящего предка человека, обладавшего сравнительно небольшим мозгом; она заполняет важный период в истории эволюции гоминид — так называемый плиоценовый пробел. Для плиоцена (4—10 млн лет назад) до сих пор не было обнаружено остатков ископаемых гоминид, а между тем как раз на это время, по мнению большинства специалистов, приходится пере-

Палеонтология

**Редкие древние рыбы**

При раскопках в районе Бердена, близ Глазго (Шотландия), обнаружено целое «кладбище» древнейших водных организмов, относящихся к началу верхнекаменноугольного периода (примерно 320 млн лет назад). Палеонтолог С. Вуд (S. Wood; Хантерский музей при Университете Глазго) установил, что среди этих остатков — 11 новых для науки видов палеонисцид (древние костистые рыбы с лучевидными плавниками) и акантодов (примитивные виды).

Эта находка позволяет изучить важный этап эволюции обитателей моря, протекавший в период между 345 и 280 млн лет назад, когда предки современных нам акул, первоначально появившихся еще в девонское время, начали все более отходить от родословного древа других рыб. До раскопок под Глазго все известные хрящевые палеозойские рыбы изучались лишь по отдельным фрагментам — зубам и частям позвоночника, лучше сохраняющимся в ископаемом состоянии. Теперь палеонтологи впервые смогут судить и о хрящевых частях их организма. Обнару-



Один из найденных в Шотландии ископаемых видов палеонисцид — *Chirodus crassus*. Длина тела 31 см.

жена здесь и единственная на сегодня черепная коробка акантода.

Помимо рыб, под Глазго найдено необычное по сохранности скопление остатков древнейших ракообразных, в числе которых — редкие креветкообразные, относящиеся к малакостракановым. Они сохранились настолько хорошо, что на их кутикулах (жесткое поверхностное покрытие) различим свойственный этому виду орнамент.

Описанная находка — первый в XX в. случай обнаружения столь богатого скопления ископаемых остатков водных организмов в Великобритании.

*Nature*, 1982, v. 297, № 5867, p. 574 (Великобритания).

**Экология**

## Загрязнение Северного моря

Центр гидрологических исследований Великобритании опубликовал отчет об изучении загрязнения Северного моря. Установлено, что в воды этого моря ежегодно поступает 7740 т свинца, 5930 т меди, 30900 т цинка, 2880 т хрома, 840 т кадмия, 3650 т никеля и 44 т ртути. Наиболее загрязнена южная часть моря,

лежащая между Дуврским проливом и линией, соединяющей Норфолк с Амстердамом: при площади, не превышающей 7,5% всего моря, эта акватория получает примерно половину всего загрязнения.

Вклад различных источников загрязнения хорошо прослеживается на примере свинца: 58% его поступает в воду из атмосферы, 31% — из рек, 7% — в результате выбросов на прибрежных промышленных предприятиях, 2% — с канализацией. В атмосферу все виды металлических загрязнений попадают, очевидно, в ходе промышленной деятельности, а свинец — также и с выхлопными газами автотранспорта.

Наиболее сильно загрязняет атмосферу над Северным морем Великобритания с ее протяженным побережьем, находящимся к тому же с наветренной стороны. Среди рек, загрязняющих эту акваторию, основную роль играет Рейн, собирающий свои воды из промышленно развитых областей ФРГ, Франции и Нидерландов; за ним следуют Эльба (на ее берегу стоит индустриальный Гамбург), Шельда, Темза и Хамбер.

*New Scientist*, 1982, v. 95, № 1315, p. 222 (Великобритания).

## Геотектоника

### Современные движения Курильских островов

Первые сведения о современных вертикальных движениях Курил получены на основе геоморфологических и океанографических данных Г. Г. Якушко (Сахалинский комплексный НИИ ДВНЦ АН СССР), А. А. Никоновым (Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР) и Н. Е. Юркевич (Сахалинское территориальное управление по гидрометеорологии и контролю природной среды Госкомитета СССР).

По геоморфологическим признакам большая часть обследованных пунктов Курильской островной дуги испытывает поднятие на протяжении столетий-

тысячелетий. Скорость поднятия с учетом возраста морских террас по археологическим и радиоуглеродным данным оценивается в 0,25—2 мм/год. Ряд пунктов (кроме Северо-Курильска и Южно-Курильска) за последние десятилетия, судя по ландшафтным и геоморфологическим признакам, погружаются.

Более точные данные о знаке и скорости современных вертикальных движений земной коры были получены путем обработки наблюдений за уровнем моря на шести морских постах, продолжавшихся 10—17 и более лет: Курильск и Южно-Курильск погружались со средней скоростью около 4 мм/год; пункты Матуа, Северо-Курильск и Малокурильск поднимались со скоростью 3—10 мм/год.

Выявлено непостоянство знака и величины скорости движений за разные по длительности отрезки времени и за разные годы. Это обусловлено, считают авторы, нарушением общей направленности движений в каждом пункте временными возмущениями в связи с подготовкой и реализацией землетрясений.

Ряд сейсмических событий, преимущественно с эпицентрными расстояниями до 50 км, предвдварялся и сопровождался изменением высоты земной поверхности на 2—4 см. Наиболее яркий пример тому — выявленные по уровнемерным данным вертикальные остаточные деформации земной коры на 5—10 см при Парамуширском землетрясении 28 февраля 1973 г. с магнитудой 7,6 и эпицентром на расстоянии 50 км. Однако отмечаются и случаи, когда корреляция между движениями земной коры и землетрясениями отсутствует.

Неполное соответствие в ряде пунктов хода современных движений земной коры, выявленных геоморфологическим и уровнемерным методами, может объясняться неравномерностью вертикальных движений в течение лет и десятилетий в связи с сейсмическими и, вероятно, вулканическими процессами.

Доклады АН СССР, 1982, т. 265, № 2, с. 444—449.

Геофизика

**Мощность литосферы на территории СССР**

В. Чермак (Геофизический институт АН ЧССР) рассчитал мощность литосферы на территории СССР. Основой для расчетов послужили советские геотермические карты, а также данные о потоке тепла в различных тектонических зонах. Эти данные автор осреднил по прямоугольной сети  $4 \times 6^\circ$ , получив для площадей в  $400 \text{ км}^2$  средние региональные величины.

Одна из основных черт распределения теплового потока на поверхности Земли состоит в том, что его средние величины уменьшаются с увеличением возраста последнего тектономагматического цикла, охватывающего данный регион. Как известно, региональное поле теплового потока на поверхности может быть использовано для расчета глубинных температур. В работе принято, что по-

доша литосферы соответствует глубине залегания изотерм плавления мантийного вещества. Соответственно, мощность литосферы определялась как расстояние от ее подошвы до поверхности земли.

Составленная автором карта показывает, что мощность литосферы отражает главные черты тектонического строения территории СССР. Мощность литосферы закономерно уменьшается при переходе от древних Восточно-Европейской и Сибирской платформ к молодым складчатым областям их южного обрамления. Минимальные мощности характерны для современных подвижных поясов, а также для Байкальской рифтовой зоны (в последнем случае она составляет первые десятки километров).

В пределах древних платформ мощность литосферы определена неуверенно. Глубинные температуры, рассчитанные по величинам поверхностного теплового потока, нигде не достигают температуры плавления мантийного вещества. Этот факт имеет очень большое значение для геотектоники. Области под древними платформами и щитами, где астеносфера пло-

хо развита или не развита вообще, могут действовать как «якоря», тормозящие движение литосферных плит. Обширные зоны очень глубокого (значительно более 200 км) залегания подошвы литосферы под Восточно-Европейской и Сибирской платформами обуславливают относительную стабильность положения Евразийской плиты на протяжении длительного геологического времени.

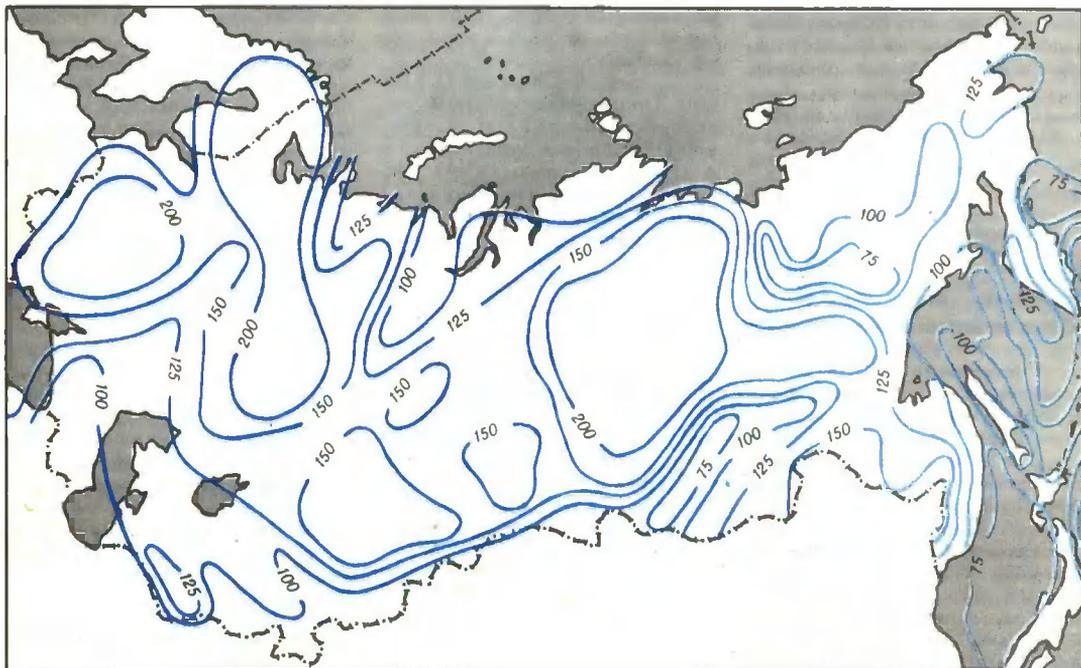
Известия АН СССР, серия Физика Земли, 1982, № 1, с. 25—38.

Геология

**Обнаружены позднепротерозойские каньоны**

Глубокие каньоны, разрезающие материковые склоны современных континентов, являются наиболее заметной морфоструктурой в зоне перехода от материков к океанам. Вероятно, они были характерны и для окраин древних континентов. Австралийские геологи С. вон дер Борх, А. Грейди и Р. Смит (S. von der Berch, A. Grady,

Карта регионального распределения мощности литосферы на территории СССР. Изолинии — в километрах.



R. Smith; Институт геодинамики Австралии) обнаружили на юге континента, в районе г. Аделаида, всего в 500 км от современного побережья океана каньоны, образовавшиеся в позднем протерозое (более 600 млн лет назад).

Каньоны возникли на древнем континентальном склоне в тот период, когда на юге Австралии начали формироваться глубокие морские впадины Аделаидской геосинклинали. Древняя речная сеть образовала на юге континента крупную дельту, которая постепенно выдвигалась в океан. Резкое падение уровня океана привело к тому, что русла рек стали интенсивно врезаться в дельтовые отложения — так появились каньоны глубиной до 1,5 км. Они имели очень крутые, почти вертикальные стенки, в их днище выделяются одно или два русла, заполненных конгломератами. Постепенно, с поднятием уровня моря и выдвижением дельты в океан, каньоны заполнялись характерными слоистыми отложениями мутьевых потоков. В дальнейшем они были погребены под мелководными дельтовыми отложениями.

Обнаружение на суше прибрежных каньонов континентального склона дает уникальную возможность изучать процессы образования таких структур в современных океанах.

American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1982, v. 66, № 3, p. 332—343 (США).

#### Геология

### Падение метеоритов и образование континентов

Несколько лет назад американские исследователи К. Шульц (K. Shulz; Университет им. Дж. Вашингтона, Сент-Луис) и П. Уайблен (P. Weiblen; Университет штата Миннесота, Сент-Пол) построили модель геологической истории Канадского кристаллического щита. Она показывала, что характерное для данного региона строение земной коры могло возникнуть вследствие падения крупного метеоритного тела, приведшего



Кольцевое распределение характеристик земной коры в районе предполагаемого падения метеорита (пунктиром обозначены современные очертания Гудзонова залива и Великих озер). Место падения находится примерно на равных расстояниях от оз. Верхнее и юго-западного побережья Гудзонова залива.

к образованию кратера диаметром не менее 1000 км. Этим можно объяснить существование здесь многочисленных разломов земной коры и значительную разницу в возрасте пород, уменьшающемся по мере приближения к месту предполагаемого падения метеорита. Однако реальных следов такой катастрофы обнаружить до сих пор не удавалось.

Ныне Дж. Класнер (J. Klasper; Западно-Иллинойский университет, Макомб) и У. Кеннон (W. Cannon; Управление геологической съемки США), проанализировав составленную ими первую подробную карту распределения плотности земной коры в Северной Америке, обнаружили отчетливые следы гигантского ископаемого кратера поперечником 2800 км. Он занимает территорию от северной части Гудзонова залива до южных оконечностей озер Мичиган и Гурон; на востоке кратер ограничен гренвиллскими породами канадского Атлантического побережья, а на западе достигает провинции Саскачеван.

Предполагается, что североамериканский кратер возник около 4 млрд лет назад при бомбардировке планет Солнечной системы мощным потоком метеоритов. Существует мнение, что в тот период повер-

хность Земли была сплошь покрыта водой. Шульц с коллегами предлагает гипотезу, согласно которой именно метеоритная бомбардировка и начала цепь событий, приведших к образованию древней континентальной коры (такая точка зрения объясняет отсутствие на Земле пород с возрастом 4 млрд и более лет).

Гравитационные данные, положенные в основу карты, позволяют проследить кольцеобразное распределение характеристик земной коры, в том числе и возраста пород, вокруг предполагаемого места падения метеорита. Более молодые породы (1,8—2 млрд лет) находятся в зоне гравитационных аномалий вблизи центра окружности, а более древние (3,8 млрд лет, т. е. одни из древнейших на Земле) — у края внешнего кольца. Такие возрастные особенности могут быть следствием того, что наиболее интенсивный и длительно сохранявшийся тепловой поток из недр должен был наблюдаться в пределах самого внутреннего кольца и в зоне разломов земной коры. В это же время во внешних областях кольцевых структур шло охлаждение излившихся расплавленных пород и их стабилизация после катастрофы.

Налицо аналогия с «морскими» бассейнами на Луне и подобными им образованиями на других планетах. Как теперь известно, многие лунные моря, ограниченные кольцевыми структурами, также связаны с положительными гравитационными аномалиями и характерными разломами. Правда, сходство это неполное, так как земная кора развивалась после метеоритной бомбардировки иным путем, чем поверхность Луны.

Авторы гипотезы считают, что падение метеорита могло, нарушив внешние — воздушную и водную — оболочки Земли, привести к выделению огромного количества энергии, создать крупную геотермальную аномалию и необычную геотектоническую активность, которая должна была вызвать к жизни процессы, порождающие рост континентальной коры.

Science News, 1982, v. 121, № 5, p. 69 (США).

## Петрография

**Удивительный каолин**

Каолинит — минерал из группы глин — и состоящая из него порода — каолин встречаются на поверхности Земли практически повсеместно. Именно эту породу У. Келлер (W. Keller; Университет штата Миссури, США) называет «самым разнообразным по генезису, структуре, физическим свойствам, а также по использованию» образованием на нашей планете.

Действительно, каолинит образуется в результате совершенно различных геологических процессов: при выветривании разнообразных богатых алюмосиликатами горных пород (включая магматические, вулканические и осадочные) или же при гидротермальных преобразованиях этих пород; при накоплении осадков в водоемах, где он кристаллизуется из коллоидных частиц, взвешенных в воде.

Каолин активно поглощает воду. Этим его свойством пользуются в керамической, бумажной и других отраслях промышленности. Однако встречается каолин, который не поглощает воду, не обладает пластичностью и в воде остается «твердым, как камень», что совершенно нехарактерно для глин. Этот тип каолина тоже широко используется в промышленности, например в производстве особых огнеупорных материалов, которые в контакте с водой не должны изменять своих свойств. Попытка создания искусственных материалов с подобными свойствами пока не увенчалась успехом.

От чего зависит разнообразие свойств каолина? По мнению Келлера, изучавшего образцы этих пород с разных континентов, основной причиной является структура. У влагеомкого каолина структура пористая, она возникает в результате случайной комбинации хаотически ориентированных «хлопьев», состоящих из пакетов крупных пластинчатых или столбчатых кристаллов каолинита. Каолин, не поглощающий воду, состоит из мелких плотных пакетов кристаллов каолинита.

В отличие от водопоглощающего, он имеет очень низкую пористость и в два и более раз повышенную плотность (до  $2,5 \text{ г/см}^3$ ).

Структура, а значит, и свойства породы зависят от условий ее происхождения. Влагеомкие каолины — это первичные продукты выветривания; каолины, не поглощающие воду, как правило, возникают либо при вторичных, так называемых диагенетических изменениях осадков, либо в ходе гидротермального преобразования горных пород.

Geological Society of America Bulletin, 1982, v. 93, № 1, p. 27—36 (США).

## Океанология

**Кольцеобразные течения у западного побережья США**

Несколько лет назад в Атлантическом океане были открыты так называемые ринги — кольцеобразные и петлеобразные течения<sup>1</sup>, отрывающиеся от общего потока — Гольфстрима и движущиеся независимо от него; скорость воды в ринге на расстоянии 50 км от его центра достигает  $1,5 \text{ м/с}$ ; время жизни рингов составляет обычно 2—3 года. В других областях Мирового океана подобные движения водных масс долгое время оставались неизвестными, а их существование у западного побережья США вообще считалось невозможным: проходящее здесь Калифорнийское течение, в отличие от Гольфстрима, — мелкий, очень широкий и медленно перемещающийся поток.

Сотрудники Скриппсовского океанографического института (Ла-Холья, штат Кали-

форния, США), анализируя измерения со спутников в инфракрасном диапазоне, установили, что некоторые вихревые движения крупных водных масс, по-видимому, существуют и у западного побережья Северной Америки. В 1981 г. специальная океанографическая экспедиция не только подтвердила это, но и представила принципиально новые данные об этом явлении.

В течение января 1981 г. между Калифорнийским заливом и проливом Хуан-де-Фука, отделяющим о-в Ванкувер от континента в районе границы США и Канады, отчетливо наблюдалось от 3 до 6 крупных рингов, временами стационарных, временами смещавшихся в южном направлении со скоростью около  $1 \text{ км/сут}$ , т. е. в 3—5 раз медленнее, чем ринги Гольфстрима. Диаметр калифорнийского ринга достигал 150 км. Его ядро, образованное сравнительно низкотемпературной водной массой, лежало на глубине от 75 до 250 м. Затем, до глубины 1400 м от поверхности океана, сосредоточивались воды с температурой, превышающей температуру верхнего слоя океана. Этот гигантский «диск» совершал вращение в направлении по часовой стрелке со скоростью, составлявшей в 25 км от его центра примерно  $0,3 \text{ м/с}$ . Общая энергия также уступала энергии вихревых течений Атлантики. Причина, по которой в феврале 1981 г. калифорнийский ринг перестал существовать, остается неизвестной.

Возникновение калифорнийских рингов связывается со специфическими характеристиками температуры и солёности в Калифорнийском течении на глубинах, превышающих 200 м. Определенную роль может играть также рельеф дна: в этом районе находится крупный подводный порог Мендосино, несомненно, влияющий на движение водных масс у берегов северной Калифорнии.

Новооткрытые ринги, безусловно, влияют на взаимодействие океана и атмосферы и метеорологические процессы в этом регионе.

Science, 1982, v. 215, № 4539, p. 1490 (США).

<sup>1</sup> Подробнее см.: Бреховских Л. М. Исследования Мирового океана. — Природа, 1976, № 11; Природа, 1978, № 9, с. 144; 1979, № 1, с. 124; № 2, с. 115; № 5, с. 120; в этом номере см.: Монин А. С., Сендов Д. Г. Погода и климат океана.

## Океанология

## Полярные шапки сокращаются, уровень океана растет

По данным американских геофизиков Р. Эткинса и Э. Эпштейна (R. Etkins, E. Epstein; Управление по изучению океана и атмосферы США), уровень Мирового океана начиная с 1940 г. неуклонно повышается со средней скоростью немногим более 0,25 см/год и за прошедшее время поднялся примерно на 12 см. Это вдвое больше по сравнению с периодом 1890—1940 гг.

За последние 40 лет растаяло более 40 тыс. км<sup>3</sup> льда, образующего полярные шапки Земли, и, по-видимому, главным образом — в Антарктиде. Распространение столь значительной массы, ранее сосредоточенной в высоких широтах, по поверхности всего Мирового океана должно вызывать замедление вращения Земли, а это, в свою очередь, привести к удлинению суток примерно на 0,001 с. Эта величина составляет около 3/4 реально наблюдаемого астрометристами роста продолжительности суток за последние 40 лет.

Повышение уровня океана до 1940 г. может быть соотнесено с происходившим тогда глобальным потеплением климата, однако в последовавшие годы средние температуры в масштабе планеты понижаются. Это заставляет основную причину дальнейшего подъема уровня океана усматривать в росте стока полярных ледников в море. Таяющий лед поглощает тепловую энергию системы океан — атмосфера и существенно уменьшает повышение температуры на поверхности, которое могло бы происходить в противном случае.

Применение новой методики определения баланса масс полярных льдов с помощью спутниковой альтиметрии позволит точнее установить масштаб идущего процесса, что в сопоставлении с данными о динамике уровня Мирового океана, температуре его поверхности и

скорости вращения Земли даст возможность проверить эти выводы.

EOS, Transactions of the American Geophysical Union, 1982, v. 63, № 8, p. 170 (США).



## Гляциология

## Кислотность льда в Арктике

Анализ образцов льда, взятых Р. М. Кернером и Д. Фишером (R. M. Koerner, D. Fisher; Управление энергетики, горного дела и ресурсов Канады) на о-ве Элсмира (Канадский Арктический архипелаг), в пункте с координатами 81° с. ш., 73° з. д., указал на происходящее во времени резкое изменение кислотности осадков, выпадающих в этом регионе. Известно, что по мере увеличения глубины, а с ней и плотности ледникового покрова, утечка из него углекислого газа становится более затруднительной. В связи с этим следовало ожидать образования в его недрах угольной кислоты, повышающей кислотность глубинных слоев. Однако оказалось, что лед, отложившийся за последние 26 лет, отличается значительно более высокой кислотностью, чем лед, образовавшийся в любое другое время за последние 5 тыс. лет.

Вулканологические данные говорят о том, что ни одно извержение за последние десятилетия не приводило к существенному увеличению концентрации серы в атмосфере Земли, и, следовательно, рост содержания кислот с наибольшей вероятностью можно объяснить увеличением выброса химических веществ в ходе промышленной деятельности.

Помимо кислотности определялись электролитическая проводимость льда, а также содержание в нем натрия, калия и магния. Установлено, что с глубиной электропроводность льда возрастает. Максимум кислотности, электропроводности и концентрации микроэлементов в образцах льда за послед-

ние 26 лет неизменно приходится на весенний сезон.

Предлагаются следующие возможные механизмы таких изменений. Возросшая в последние десятилетия турбулентность атмосферы могла вызвать интенсификацию потоков ионов водорода, хотя общее их количество могло оставаться неизменным. Не исключено падение содержания нейтрализующих веществ в воздушном пространстве. Наконец, если это региональный эффект (даже сравнительно крупномасштабный), то у него может быть один конкретный источник, причем антропогенный.

Nature, 1982, v. 295, № 5845, p. 137 (Великобритания).

## Вулканология

## «Ледяные извержения»

28 января 1982 г. группа специалистов, возглавляемая Сигурдуром Тораринссоном (Sigurdur Thorarinsson; Исландский университет в Рейкьявике) и К. Гренволдом (K. Granvold; Нордический вулканологический институт), наблюдала внезапный и мощный выброс ледниковых пород и талого льда из кальдеры вулкана Гримсвэтн в южной части Исландии.

Извержение продолжалось более двух недель. Как было установлено, средний объем выбрасываемого материала — 420 м<sup>3</sup>/с. В максимуме (11 февраля) от достиг 2000 м<sup>3</sup>/с. 21 февраля явление прекратилось. Общее количество выброшенной породы составило примерно 1,3 км<sup>3</sup>. В результате этого извержения уровень ледника Ватнайёкудль, заполняющего кальдеру вулкана Гримсвэтн, понизился приблизительно на 50 м.

В исландских сагах и ряде других исторических документов имеются свидетельства о более 20 аналогичных «ледяных извержениях» Гримсвэтна за период с 1332 по 1934 г. Все они, несомненно, связаны с активностью вулканической деятельности под ледниковым покровом.

вом. Выделяющееся при этом тепло вызывает бурное таяние льда, заполняющего кальдеру вулкана.

По данным вулканологов, за последнее десятилетие наблюдались и более мощные, чем нынешнее, «ледяные извержения». Например, в сентябре 1976 г. подобное извержение уменьшило объем ледника на 2,4 км<sup>3</sup>, а в 1972 г. — на 3,2 км<sup>3</sup>.

Smithsonian Institution SEAN Bulletin, 1982, v. 7, № 2, p. 2 (США).

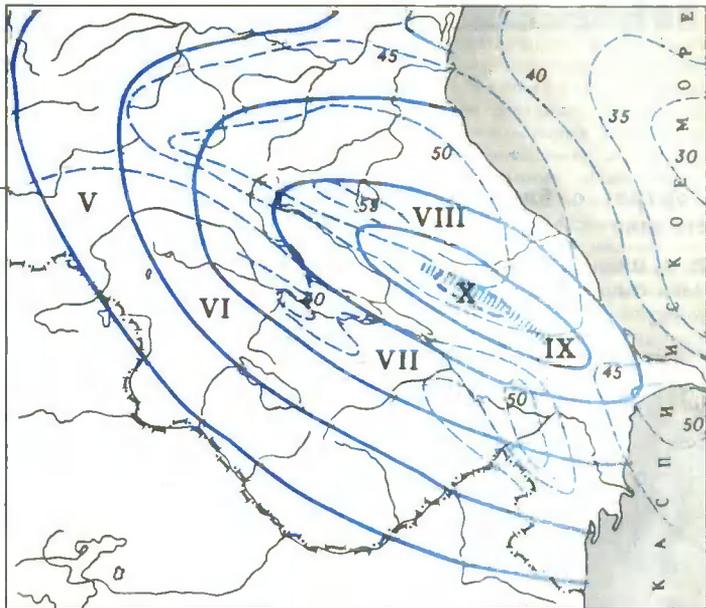
Сейсмология

**Сильнейшее землетрясение Кавказа**

На Кавказе известны 8—9-балльные землетрясения, например Шемахинское 1902 г., Чхалтинское 1963 г., Дагестанское 1970 г. и др. Но по сколько размеры участков с сотрясениями высшего балла незначительны, на новой обзорной карте сейсмического районирования СССР (СР—78) 9-балльная зона на Кавказе не выделена. Между тем оценки балльности и магнитуды сейсмических событий далекого прошлого в ряде случаев неопределенны и противоречивы.

А. А. Никонов (Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР) специально изучал материалы, относящиеся к землетрясениям 1667—1669 гг., известным как Шемахинские. Им обнаружен целый ряд неизвестных сейсмологам первоисточников эпиграфического, эпистолярного и старопечатного характера со сведениями о землетрясениях на территории нынешних Дагестана, Азербайджана, Армении и Астраханской области.

Анализ и сопоставление различных текстов (русские летописи, арабские хроники, записки путешественников, надписи на камнях, записи на полях церковных книг), проверка дат и перевод их в современную систему летоисчисления позволили заключить, что во многих источниках из разных мест и на разных языках речь идет об од-



Карта изосейст землетрясения 14 января 1668 г. на Большом Кавказе. Область наибольших разрушений и изосейсты вытянуты с северо-запада на юго-восток в соответствии с простиранием Главного Кавказского гребня.

-  **Изосейсты** (римскими цифрами отмечена интенсивность в баллах)
-  **Главный Кавказский разлом.**
-  **Изолинии мощности земной коры** (арабскими цифрами указаны километры)

ном очень сильном землетрясении — 14 января 1668 г. (н. ст.). На основе совокупности этих данных автор доказывает, что землетрясение имело разрушительный характер не только в Шемахе, как считалось ранее, но также на большей части Дагестана, в Восточной Грузии и северной Армении и сопровождалось большим числом жертв. Зона 9-балльных сотрясений охватила территорию Центрального Кавказа на протяжении около 250 км. Даже в Астрахани, на удалении от Шемахи в 650 км, ощущались сотрясения силой в 5—6 бал-

лов («куры с нашестей падали»).

Оценив по действующей сейсмической шкале интенсивность землетрясений в ряде пунктов, автор построил схему изосейст и по уравнениям макросейсмического поля рассчитал основные параметры очага: он располагался на глубине около 60 км, интенсивность сотрясения на поверхности достигала 10 баллов, магнитуда (показатель выделенной энергии в очаге) — порядка 8, т. е. на единицу более принятой для Кавказа предельной величины. Обширная область сотрясалась в течение недель и месяцев, а в Шемахе разрушительные землетрясения повторялись вплоть до 1671 г.

Положение и размеры эпицентральной зоны дали основание соотнести землетрясение с крупнейшей продольной структурой Кавказа — глубинным Главным Кавказским разломом.

Признание в прошлом 9—10-балльного землетрясения на Большом Кавказе влечет за собой ряд важных сейсмотектонических следствий и, по-видимому, может привести к пересмотру сейсмического потенциала и сейсмического районирования этого региона.

Известия АН СССР, серия Физика Земли, 1982, № 9, с. 94—110.

## Портрет с близкого расстояния

**Д. В. Ширков,**  
Член-корреспондент АН СССР  
Дубна



**В. И. Григорьев. РЕМ ВИКТОРОВИЧ ХОХЛОВ.** М.: Изд-во МГУ, 1981, 136 с.

Прошло почти шесть лет с тех пор, когда в результате трагического стечения обстоятельств, сложившихся во время восхождения на высочайшую вершину нашей страны — Пик Коммунизма в Центральном Памире, погиб выдающийся физик Рем Викторович Хохлов.

Если назвать крупнейшие работы Хохлова в области физики, вспомнить его научно-организационные достижения, академические ранги и обязанности, высокие общественные и партийные посты, то получится перечень, характерный для маститого ученого, прошедшего в науке большой путь и достигшего высот признания.

В то же время это был еще молодой, полный сил и замыслов, жизнерадостный, общитель-

ный человек, активный ученый и педагог, окруженный молодежью, сильный спортсмен в одном из самых романтичных и опасных видов спорта.

Совмещение этих двух сущностей в одном человеке составляло главную особенность неповторимого обаяния Хохлова. Силу этого обаяния испытали все те, кому посчастливилось знать Хохлова. Эта же особенность продолжает и теперь привлекать интерес к его фигуре.

Рецензируемая книга — первая попытка нарисовать портрет Рема Викторовича. Ее автор профессор МГУ Владимир Иванович Григорьев — друг и товарищ Хохлова со студенческой поры, т. е. на протяжении более чем 30 лет. Он близок к семье, к ученикам и сотрудникам Хохлова. Эти обстоятельства, чувство глубокой личной привязанности к Рему Викторовичу, а также несомненный литературный дар благоприятствовали реализации замысла.

Книга начинается очерком детских и юношеских лет, из которого читатель почерпнет немало любопытного и важного. Здесь, например, цитируется первая «характеристика», выданная 4-летнему Рему в детском саду. Среди прочих черт в ней отмечены задатки творческих способностей и повышенная по сравнению с другими детьми привязанность к семье. Эта характеристика прокомментирована В. И. Григорьевым на основе его многолетнего знакомства с Хохловым.

Семья, в которой Хохлов рос единственным и горячо любимым ребенком, оказала большое влияние на формирование его характера. Это была трудо-

вая семья. Отец, Виктор Христович, был комсомольским активистом 20-х годов, политруком эскадрона, затем стал инженером-энергетиком, а перед Великой Отечественной войной возглавлял строительство Владимирской ГЭС. В книге рассказывается, как летом, когда сверстники Хохлова уезжали в пионерские лагеря, Рем работал у отца на стройке — сначала подсобным рабочим, а потом автослесарем. Специальность пригодилась во время войны — подростка взяли в автобатальон той части, в которой вместе служили его родители. Немного позже, работая уже в Москве и участвуя в «школе взрослых», Рем экстерном сдал экзамены за десятилетку и поступил в Московский авиационный институт. В 1945 г. он перевелся на второй курс физического факультета МГУ, с которым связал всю свою остальную жизнь. Физфак был знаком ему с детства — там училась, а затем преподавала его мать Мария Яковлевна, которая стала студенткой после 8-летней работы на обувной фабрике, что не помешало ей закончить факультет с отличием.

Я хорошо знал Рема Викторовича. Случай свел нас в конце войны, когда я был студентом первого, а он — второго курса физфака. Мы подружились, прожили бок о бок студенческие годы и продолжали поддерживать близкие отношения впоследствии. Память прекрасно сохранила атмосферу времени нашего студенчества. Эта атмосфера была насыщена значительными событиями, порой мирового масштаба, имевшими прямое отношение к науке, и в особенности к физике. Развитие радиолокации и ракетной техники, освоение ядерной энергии, первые успехи молекулярной генетики и лекции на эту тему на биофаке в соседнем дворе (на Моховой), катаклизмы в мире биологии...

Мы, студенты той поры, живо ощущали, что ишь завтраш-

<sup>1</sup> Вслед за книгой В. И. Григорьева в издательстве «Знание» вышел сборник статей «Академик Рем Викторович Хохлов» (в серии брошюр «Новое в жизни, науке, технике»; серия Физика № 5/1982).

ний день будет связан с интересными и ответственными делами, с проникновением в тайны природы и серьезной работой, нужной для науки и Родины. Обстановка, в которой мы учились, способствовала быстрому научному и гражданскому созреванию. Студенты-старшекурсники организовывали и проводили самостоятельные научные семинары, некоторые из них даже читали спецкурсы своим однокашникам в университетских аудиториях.

Наши профессора одновременно с чтением лекций и написанием оригинальных курсов по возникающим на наших глазах новейшим разделам физики занимались таинственными и важными делами, такими, например, как строительство первой в мире атомной электростанции. Параллельно этому они находили время для реконструкции высшего образования. Именно в эти годы был открыт физико-технический факультет Московского университета в Долгопрудном (позднее преобразованный в Физико-технический институт), где учебный процесс был основан на новаторской идее тесного сотрудничества с базовыми научно-исследовательскими учреждениями.

Многим из нас повезло стать дипломниками и аспирантами ведущих ученых. Рем Викторович, напротив, выбрал себе кафедру колебаний, известную своими традициями, но лишенную в тот момент блеска ярких имен. Этот шаг, удививший в свое время некоторых его, казалось, более «удачливых» товарищей, был, несомненно, ранним проявлением самостоятельности и независимости, столь характерных для всей его последующей жизни. Научная молодость Хохлова прошла не под сенью какого-либо ученого светила, не в недрах чьей-либо научной школы. Перефразируя известный английский оборот, можно сказать, что он «сам сделал себя» ученым. Именно это помогло ему в короткий срок создать собственную научную школу и успешно руководить ею.

«Сам сделал себя» — так можно сказать о многих других сторонах личности Хохлова. Как я представляю себе это сейчас, Рем выработал четкую систему



Р. В. Хохлов (1926—1977).

жизненных правил, исходя из которой, сознательно развивал некоторые свои качества. Внимательность к окружающим, готовность прийти на помощь, несомненно, входили в их число, поскольку в зрелом возрасте проявлялись чаще и более четко. Наряду с этим — обязательность, верность слову, верность дружбе и невозможность компромиссов по принципиальным вопросам. С молодых лет Хохлов ставил себе задачи «на пределе возможностей» и, чтобы выполнить намеченное, постоянно жил в состоянии полной мобилизации. Не обладая от природы крепким здоровьем, он задался целью стать сильным и здоровым — и сделал это. Друзья помнят его выражение: «болеть — позорно». Для того чтобы не болеть и, несмотря на все возрастающую нагрузку, быть в отличной умственной и физической форме, в последние годы, уже академиком, ректором, депутатом Верховного Совета СССР и т. д. Хохлов не изменил своим привычкам и начинал день «с часа личной жизни». В семь утра в любую погоду он выходил в спортивной одежде на улицу и, пробежав три-четыре километра, приступал к интенсивной полусансовой зарядке, включая упражнения на гимнастических снарядах. Утренний час здоровья давал ему заряд бодрости на весь рабочий день, длившийся иной раз более 12 часов.

Центральная часть книги В. И. Григорьева содержит популярное изложение научной биографии Хохлова. Я приведу названия нескольких глав: «Нелинейные колебания», «О теории нелинейных волн», «Первый лазер в МГУ», «Параметрические оптические генераторы и усилители», «Проблемы нелинейной оптики», «Вынужденное комбинационное рассеяние», «О нелинейное распределение нелинейных пучков», «Воздействие лазерного излучения на вещество». Каждая из них — важный этап научного творчества Рема Викторовича, ступень его роста. Взятые совокупно, они дают цельное представление о Хохлове как ученом, о значении его научных достижений. Было бы бессмысленным пытаться изложить здесь содержание этой части книги. Можно лишь рекомендовать читателю непосредственно познакомиться с этими страницами, а также со статьёй Хохлова «Лазерная физика — наиболее близкая мне область» (Природа, 1973, № 3) и с вводной научно-биографической статьёй в уже упомянутом мною в примечании сборнике статей.

Вторая часть этого сборника «Время познания», принадлежащая перу Рема Викторовича и впервые опубликованная в № 9 журнала «Наука и жизнь» за 1973 г., также перекликается с некоторыми разделами книги В. И. Григорьева, такими как «Из воспоминаний ученика», «Еще раз о стиле общения с льдами», «Кафедра волновых процессов» и некоторыми другими. Из этих глав читатель почерпнет представление о профессоре Хохлове как об учителе и научном руководителе. Хорошо известно, что далеко не каждый крупный ученый оказывается способным привлечь к себе молодежь, создать научную школу. Рем Викторович в полной мере обладал нужными для этого качествами — умением понять внутренний строй другого человека и щедростью души, являющейся залогом плодотворных и нравственно сбалансированных отношений учителя и ученика.

Немаловажное значение имеет здесь общечеловеческий авторитет и опыт руководителя, желание и умение передать уче-

нику элементы собственного взгляда на жизнь и работу, учить его не только в узко профессиональном плане. Для иллюстрации приведу отрывок из статьи Хохлова «Время познания», обращенной к студентам: «Молодой ученый должен уметь рисковать, не бояться что-либо потерять, утратить ради того, чтобы, может быть, многое найти. Но как всякий истинно смелый человек, молодой, ищущий ученый должен быть готовым и к неудачам. Должен уметь встречать их по-деловому, реагировать на них не эмоциями, а действиями. В том числе должен уметь легко перестраиваться, решительно отступать, легко расставаться с тем, что списано в убыток, должен уметь собираться с силами после неудачи, четко и беспристрастно анализировать обстановку и вновь наступать. И повторять это до тех пор, пока во всей своей простоте не откроется истина. Одним словом, молодой, ищущий ученый должен реаги-

ровать на неудачу всегда одинаково — работой».<sup>2</sup>

Заключительные разделы книги В. И. Григорьева рисуют Рема Викторовича в пору его научного расцвета. Эта пора, продолжавшаяся всего несколько лет и так внезапно оборвавшаяся, характеризуется резким расширением сферы научных интересов Хохлова и интенсивными поисками новых сфер применения полученных ранее фундаментальных результатов в области нелинейных явлений и физики лазеров. Мысли Рема Викторовича обращаются к возможности создания лазера на  $\gamma$ -квантах, как его теперь называют — газера, к задаче лазерного термояда, к возможностям использования лазеров в биологии, химии, океанологии, оптике атмосферы, в комплексных задачах экологического направления.

<sup>2</sup> Цит. по кн.: Академик Рем Викторович Хохлов. М., 1982, с. 32.

Напомним читателю, что подборка статей, иллюстрирующих этот период научного творчества Хохлова, написанных его учениками и последователями, была опубликована в № 9 журнала «Природа» за 1978 г.

Повествование В. И. Григорьева наполнено личными впечатлениями автора, товарищей и коллег Хохлова, «зарисовками с натуры», образно характеризующими черты его характера, что создает «эффект присутствия», приближает читателя к Ре-му Викторовичу. Это впечатление усиливается удачным подбором фотографий.

В целом рецензируемая книга, изданная, к сожалению, относительно небольшим тиражом и быстро разошедшаяся, рисует правдивый и образный, хотя кое в чем и неполный портрет рано ушедшего от нас выдающегося ученого и человека, которого теперь недостает многим людям в самых различных ситуациях.

## НОВЫЕ КНИГИ

### Астрофизика

Э. В. Кононович. СОЛНЦЕ — ДНЕВНАЯ ЗВЕЗДА. Пособие для учащихся. М.: Просвещение, 1982, 112 с., ц. 20 к.

В настоящее время надежно установлено, что по меньшей мере около 97—98% всего вещества Вселенной сосредоточено в звездах. Современная астрономия пытается выяснить, как возникли звезды, что с ними будет потом, откуда взялось и куда денется то вещество, из которого они состоят, каково прошлое и будущее Вселенной. Как пишет в предисловии к книге ее автор, «мы бы знали о звездах совсем мало, если бы не одна из них, расположенная необычайно близко к нам — наше Солнце. Его мы знаем лучше, потому что оно «совсем рядом» и с ним связана вся наша жизнь». Цель книги — рассказать о звездах, опираясь на Солнце, как на близ-

кий и знакомый образ; при этом автор старался объяснить важные физические особенности звезд, используя знания, которые школьник приобретает к концу девятого класса.

### География. Языкознание

Г. П. Смоляцкая, М. В. Горбаневский. ТОПОНИМИЯ МОСКВЫ. Отв. ред. В. В. Иванов. М.: Наука, 1982, 176 с., ц. 65 к.

Опираясь на такие широко известные исследования, как книги П. В. Сытина («Прошлое Москвы в названиях улиц». М., 1956 и «Откуда произошли названия улиц Москвы». М., 1959), авторы дополняют культурно-историческое объяснение названий внутригородских объектов рассказом о том, по каким лексическим, семантическим,

словообразовательным и другим законам русского языка они сформировались. В книге рассмотрены наиболее распространенные гипотезы о происхождении самого названия Москва, объясняется ряд московских топонимов (например, Останкино, Кокуй, Химки). Книга снабжена указателем топонимов, благодаря которому читатель может быстро отыскать страницы, посвященные интересующему его названию.

### Этнография

Т. И. Султанов. КОЧЕВЫЕ ПЛЕМЕНА ПРИАРАЛЬЯ В XV—XVII ВВ. (Вопросы этнической и социальной истории.) Отв. ред. В. А. Ромодин. М.: Наука, Гл. ред. вост. лит., 1982, 133 с., ц. 1 р. 20 к.

Перед читателем раскрывается малоизученный период этносоциальной истории тюркья-

зычных кочевых племен Приаралья. Изучив обширный материал таджикских и тюркских источников, автор характеризует родо-племенной состав населения Узбекского улуса, размещавшегося в начале XV в. на значительной территории современного Казахстана. Там существовало несколько независимых владений потомков сыновей Джучи-хана, старшего сына Чингисхана, которые вели между собой долгий и ожесточенный спор за верховенство. В конце 20-х и в 30-е годы XV в. эти владения были объединены Шибанидом Абулхайр-ханом в единое «кочевое государство», население которого известно нам под собирательным названием узбеков. Через два столетия на этой же территории образовалось новое ханство — казахов, состоящее из двух социальных групп: ак-суйек (белой кости) и кара-суйек (черной кости).

Анализируя традиционные списки 92 узбекских племен (барак, буркут, ички, хытай и др.), территорию их расселения, автор приходит к выводу, что в составе ханского войска могли быть представители родов и племен, проживающих вне территории Узбекского улуса (хотя и носивших его названия). Автор рассматривает политическую организацию улуса, его обычаи и правовые нормы.

Книга адресована всем, кто интересуется историей мировой культуры.

#### Социология науки

**П. Б. Шелищ. ДИНАМИКА НАУКИ.**  
Л.: Наука, 1981, 144 с., ц. 80 к.

Наука в современном обществе по масштабам привлекаемых людских и финансовых ресурсов сравнима с крупными отраслями производства. Перевод народного хозяйства на путь интенсивного развития со всей остротой ставит проблему повышения эффективности научной деятельности. Насколько эффективно будет использован научный потенциал, во многом зависит от качества управления, от способности сознательно использовать закономерности раз-

вития науки, к изучению которых и направлено внимание науковедов.

В четырех главах книги рассматриваются такие вопросы, как внутренние стимулы научной деятельности, формирование новых научных направлений, воспроизводство научных кадров и проблема его регулирования, оценка результатов научных исследований и их планирование. С некоторыми соображениями автора книги читатели «Природы» смогли познакомиться по статье «Эффективность научной деятельности и возраст», опубликованной в № 6 за 1982 г.

#### История науки

**В. П. Визгин. ГЕНЕЗИС И СТРУКТУРА КВАЛИТАТИВИЗМА АРИСТОТЕЛЯ.**  
Отв. ред. И. Д. Рожанский. М.: Наука, 1982, 429 с., ц. 2 р. 70 к.

Историки науки обсуждают различные способы построения научного знания, чаще всего сводя какое-либо новое качество к свойствам исходных компонентов, а новую целостность — к свойствам ее частей. В этой ситуации особый интерес представляет изучение в логическом и историческом плане различных приемов нередукционистской методологии. Попытка всесторонне и основательно разобраться в этой проблеме неминуемо приводит нас к изучению истории научного знания, прежде всего к исследованию античной науки и Аристотелю как величайшему ее представителю.

В богатейшей литературе, посвященной трудам Аристотеля, до сих пор отсутствовало комплексное исследование его учения о качествах, анализирующее это учение как в плане изучения его внутренней структуры, так и в плане объяснения его возникновения. Автор этой книги восполняет данный пробел, исследуя и комментируя Аристотеля в конкретно-проблемной ситуации его времени.

В книге, содержащей семь глав, выявляется сам феномен подхода Аристотеля к проблеме качества в процессе преодоления им геометрической теории Платона и атомизма.

Книга предназначена всем интересующимся историей науки и мировой культуры.

#### История культуры

**РУССКИЕ ПИСЬМЕННЫЕ И УСТНЫЕ ТРАДИЦИИ И ДУХОВНАЯ КУЛЬТУРА** (по материалам археографических экспедиций 1966—1980 гг.). Сб. ст. под ред. И. Д. Ковальченко. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982, 319 с., ц. 2 р. 40 к.

В книге исследованы материалы, собранные археографическими экспедициями исторического факультета МГУ в течение последних 15 лет. Задачей экспедиций были поиски и изучение документальных памятников непосредственно в среде их бытования. Маршруты поисков проходили главным образом по местам старообрядческих поселений. Именно в старообрядческой среде сохранились многие элементы позднего русского средневековья, которые позволяют приподнять завесу времени и почувствовать культурную атмосферу, окружавшую наших предков.

В сборнике представлены элементы древней религиозности (письменность, традиционная служебная музыка, живопись) и народной культуры (язык, фольклор, песни, плачи и т. п.). Большой интерес представляют публикации ранее неизвестных письменных и музыкальных памятников XVII—XIX вв. (документальная запись событий старообрядческой общины, нотные и стихотворные записи духовных гимнов), а также описание старообрядческих певческих рукописей XVII—XX вв. из собрания МГУ. Специальная статья посвящена памятникам старообрядческой живописи XVIII—XIX вв. Книга иллюстрирована. Она рассчитана не только на специалистов (историков, искусствоведов, этнографов, филологов), но и на читателей, интересующихся историей русской культуры.

## «Мир видит Дубну глазами Туманова»



Ю. А. Туманов:

— Я человек медлительный, люблю тему продумать, чтобы на съемке быть во всеоружии. Но этот процесс подготовки к съемке невидим для других. Физики называют это «капризом Туманова», а я просто должен знать, что я снимаю и для чего. Доказывать это мне пришлось почти 20 лет. Теперь и мне, и моему коллеге Н. М. Горелову уже не говорят: «Снимай с этой точки!» Мы отстаивали право работать самостоятельно. Теперь нам сначала объясняют, что надо показать, знакомят с чертежами, планом, стараются заинтересовать. Мне повезло, я занимаюсь любимым делом. Работа для меня — все. Мой лучший снимок! Я его еще не сделал.

Слова, вынесенные в заголовок, принадлежат главному ученому секретарю Объединенного института ядерных исследований А. Н. Сисацяну. Сказаны они о Юрии Александровиче Туманове, фотожурналисте, который вот уже более 20 лет неустанно фиксирует глазом объектива все, что происходит в Дубне, ее науку, технику, людей. Снимки Туманова фигурируют в научных докладах, документальных фильмах, на их основе создаются книги и буклеты, рассказывающие о жизни Дубны, они становятся вкладом в науку и составляют фотоисториографию ОИЯИ.

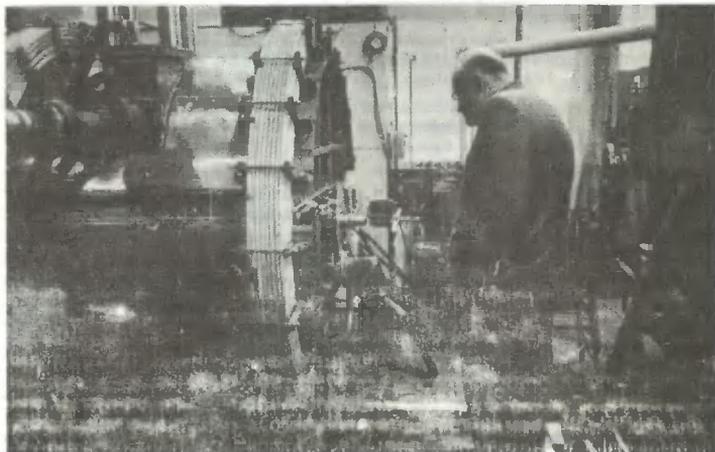
Как работает Туманов в многотрудном жанре научного фоторепортажа? Какое значение придает его работе ученые Дубны?

**Ю. Ц. Оганесян, заместитель директора Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ:**

— Первый раз, когда мы встретились с Тумановым, я повел его на ускоритель У-300, показал, что надо для нас снять. Он ходил, смотрел и... не снимал. Мне казалось, он капризничает, я бы уже сто раз сделал эту несчастную фотографию, а он все медлит, стоит и стоит.

В общем, в тот раз он так ничего и не снял. Пришел во второй раз. Я ничего нового показать ему не мог, продемонстрировал все то же самое. А потому вдруг мы разговорились, я стал рассказывать, что мы делаем. Не думаю, что говорил очень понятно. Туманов задавал вопросы, часто не по существу, меня, по правде говоря, это раздражало, хотя эти вопросы, видимо, помогли ему понять суть дела. Короче, это был разговор не о фотосъемке, а о физике. Но в этот раз он опять ничего не снимал. Потом я узнал, что он приходил и занимался съемкой весь день...

Когда нужно увидеть то, что можно увидеть, я обращаюсь за помощью к Туманову и прошу сделать снимок, чтобы лучше понять то или иное физическое явление. Несколько лет назад, когда мы пускали циклотрон У-400, определенная работа легла на плечи Туманова. Мы решили отказать от систем электронной диагностики и взяли на вооружение визуальную. Конечно, в какой-то мере это был риск, но я знал: все, что зависит от Туманова, будет сделано на высшем профессиональном уровне. И не ошибся. Не могу точно сказать, есть ли еще циклотроны тяже-



У модели коллективного ускорителя. А. Л. Минц. 1967 г.



Ночная вахта Э. Н. Цыганова и И. А. Тяпкина. На ускорителе Института физики высоких энергий под Серпуховом работает установка ОИЯИ «Кристалл». 1979 г.



На семинаре. Если В. И. Векслер слушает стоя, значит это интересно. 1964 г.



Диалог. Л. Б. Окунь и Б. М. Понтекорво. 1969 г.

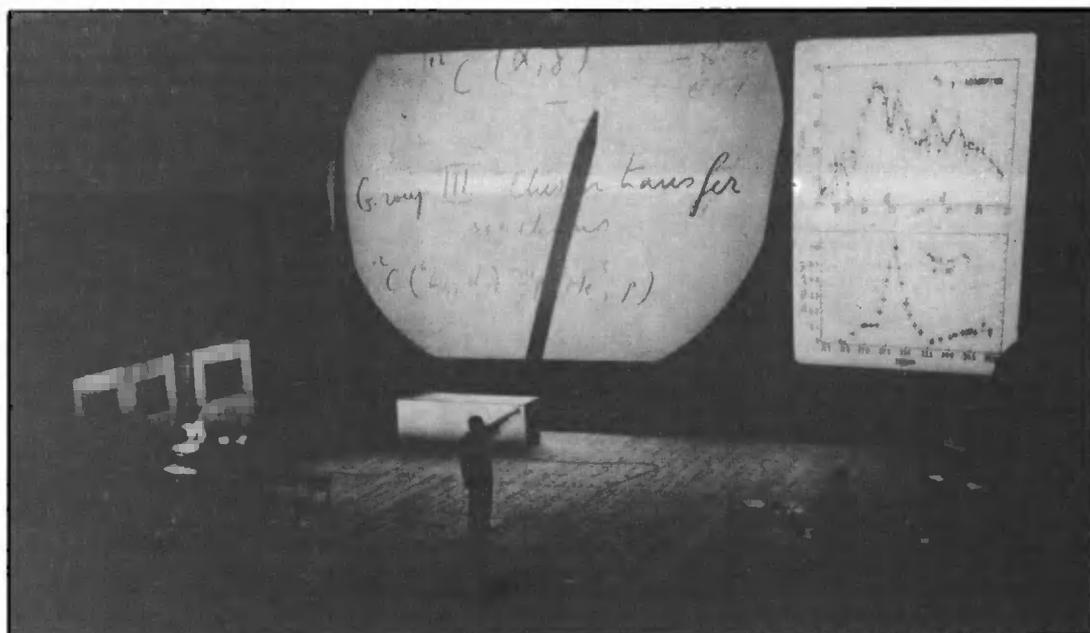


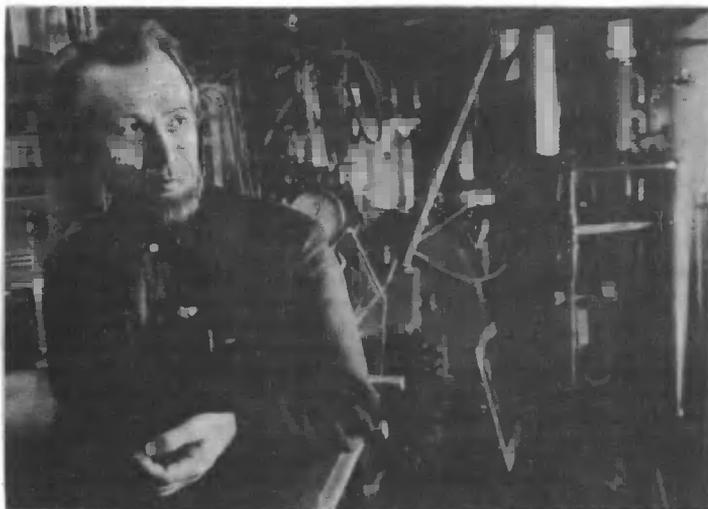
Полюсные наконечники синхротрона весят сто тонн. 1980 г.



Председательствует Д. И. Блохинцев. 1962 г.

Указующий перст. На Международной конференции по структуре ядра. 1968 г.





**Б. С. Меганов, автор оригинального метода получения сверхнизких температур. 1967 г.**

**Редкая удача фотографа — улыбнулись все. На Международном совещании по синтезу и свойствам новых элементов. 1980 г.**



**Э. Л. Андроникашвили в Тбилиси. 1976 г.**



**Р. Вильсон в Дубне. 1978 г.**

лых ионов, которые настраивали визуально, но наш У-400 настроен именно так. Мы видели пучок глазами: он то исчезал, то снова появлялся. Туманов хватал один аппарат за другим, но мешало сильное магнитное поле, оно притягивало его вместе с камерой... Чрезвычайно тяжело дался ему этот снимок, но фотография оказалась великолепной, она демонстрировалась на многих конференциях, в советских и зарубежных журналах.

**В. А. Никитин, начальник сектора Лаборатории высоких энергий ОИЯИ:**

— В моей жизни фото Туманова сыграли любопытную роль. Это было в конце 1970 г., когда наше предложение о выполнении экспериментов со струйной газовой мишенью на внутреннем пучке ускорителя протонов в Батавии (США) обсуждалось на совещании у Роберта Вильсона, директора Национально-ускорительной лаборатории им. Э. Ферми. После моего доклада был высказан ряд критических замечаний о том, что предлагаемая методика еще недостаточно отработана, есть опасность испортить вакуум в ускорителе и т. д. Я понял, что наше предложение отправляется на доработку, или практически



Г. Сиборг со спины. Во время дискуссии с дубненцами в Женеве, 1970 г.

отклонено, и стал собирать со стола свои бумаги. В моем портфеле лежала стопка фотографий о нашей серпуховской работе. Они были сделаны Тумановым на разных этапах эксперимента: от монтажа оборудования до обработки данных. Достал одну из

них и показал Вильсону. На ней изображался момент испытания механической мишени. У людей озабоченный вид, а мишень выглядит замысловатым переплетением деталей. Вильсон сразу оживился: «Странное фото! Почему люди в пальто? Неужели в Дубне так холодно? И вообще здесь какая-то драма!.. Зачем такой большой барабан для пленки!» Я не находил ответа на эти вопросы. Меня вдруг самого удивила эта фотография. Стали смотреть другие снимки. Чем дальше, тем больше вопросов. «Это интересно! Такая работа может получиться и на нашем ускорителе тоже, — вдруг сказал Вильсон, — попробуйте вписаться в тоннель без его модификации, тогда мы утвердим ваше предложение». Это и было начало! То, что не смогли сделать логика и строгий расчет, сделали образы, мастерски запечатленные объективом Туманова. Много позже, вспоминая этот эпизод, Вильсон сказал: «Ваши фотографии показали мне, что кроме идеи здесь есть живые люди, убежденные энтузиасты. Я это высоко ценю. Без этого дела не бывает».

Публикацию подготовила  
Л. П. Устенко.

В номере использованы фотографии: ТАСС, АП—ТАСС, ЮПИ—ТАСС, Н. Н. АЛЕКСЕЕВА, В. Н. МАШАТИНА, И. А. СНЕГИРЕВА, Ю. А. ТУМАНОВА.

Художник П. Г. АБЕЛИН  
Художественные редакторы:  
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Корректоры:  
Т. Д. МИРЛИС, М. Б. РЫБИНА

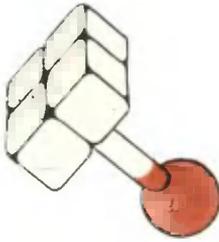
Адрес редакции:  
117049, Москва, ГСП-1,  
Мароховский пер., 26.  
Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 5.11.82  
Подписано к печати 30.12.82  
Т—22824  
Формат 70×100 1/16  
Офсет  
Усл.-печ. л. 10,32  
Усл. кр.-отт. 1636 тыс.  
Уч.-изд. л. 15,0  
Бум. л. 4  
Тираж 59860 экз. Зак. 2850

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



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



## В следующем номере

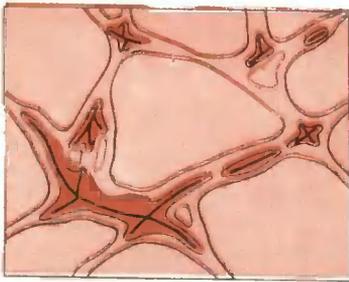
Как вирус гриппа проникает в клетку? Ответ на этот вопрос дают последние исследования в молекулярной биологии.

**Бергельсон Л. Д.** Рецепция вируса гриппа.



На севере Читинской области, недалеко от трассы БАМ, располагается неожиданный ландшафт — поле движущихся песчаных барханов и цепочка ледяных бугров на его окраине.

**Кронделев Ф. П.** Барханы и ледяные бугры Чарской котловины



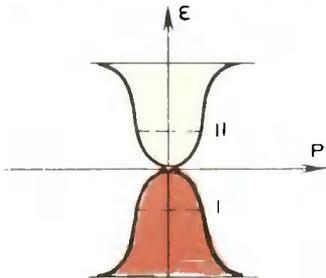
Изучение газового дыхания Земли — потока глубинных газов из ее недр — позволяет выявлять участки, неблагоприятные для строительства крупных инженерных сооружений.

**Бороздич Э. В., Еремеев А. Н., Яницкий И. Н.** Газовое дыхание Земли.



«...Как математик относится к своей науке? Каковы его критерии успеха, в чем привлекательность той или иной цели? Что влияет на его усилия? Какие соображения? Что управляет и движет им?»

**Дж. фон Нейман.** Математик.



Новый класс веществ, обнаруженный и исследованный в течение последних двух десятилетий, занимает промежуточное положение между металлами и полупроводниками и обладает рядом удивительных свойств, открывающих широкие возможности их практического использования.

**Иванов-Омский В. И., Цидильковский И. М.** Бесщелевые полупроводники — новый класс веществ.

An aerial photograph of a large body of water, possibly a lake or a wide river. The water is a deep blue color with some lighter, swirling patterns. In the upper right corner, there is a small boat with two long poles extending into the water. The background is a mix of green and brown, suggesting a forested or agricultural area.

Цена 80 коп  
Индекс 70707