

ISSN 0032-874X

1981

# ПРИРОДА



Ежемесячный  
популярный  
естественнонаучный  
журнал  
Академии наук СССР

Основан в 1912 году



## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор  
академик  
Н. Г. БАСОВ

Доктор физико-математических наук  
Е. В. АРТЮШКОВ

Доктор биологических наук  
А. Г. БАННИКОВ

Академик  
Д. К. БЕЛЯЕВ

Доктор биологических наук  
А. Л. БЫЗОВ

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

Заместитель главного редактора  
В. А. ГОНЧАРОВ

Доктор физико-математических наук  
С. П. КАПИЦА

Академик  
Б. М. КЕДРОВ

Доктор физико-математических наук  
И. Ю. КОБЗАРЕВ

Академик  
Н. К. КОЧЕТКОВ

Член-корреспондент АН СССР  
В. Л. КРЕТОВИЧ

Доктор философских наук  
Н. Ф. ОВЧИННИКОВ

Заместитель главного редактора  
В. М. ПОЛЫНИН

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

Заместитель главного редактора  
доктор биологических наук  
А. К. СКВОРЦОВ

Доктор геолого-минералогических наук  
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора  
кандидат технических наук  
А. С. ФЕДОРОВ

Член-корреспондент АН СССР  
В. Е. ХАИН

Член-корреспондент АН СССР  
Р. Б. ХЕСИН

Академик  
В. А. ЭНГЕЛЬГАРТ

Доктор биологических наук  
А. В. ЯБЛОКОВ



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

**На первой странице обложки.** Электромобиль с приводом от электрохимического генератора. См. в номере: Лидоренко Н. С., Мучник Г. Ф. Прямое превращение химической энергии в электрическую.

Фото Ю. Н. Глаголева.

**На четвертой странице обложки.** Дорога в сосновом бору. См. в номере: Ковда В. А., Керженцев А. С., Блистанов А. С., Заблоцкая Л. В. Приокско-Террасный биосферный заповедник.

Фото Е. В. Арбузова.

Январь 1981 года

## В НОМЕРЕ

|  |   |
|--|---|
| <p>НАВСТРЕЧУ<br/>XXVI СЪЕЗДУ<br/>КПСС</p>                | <p><b>Кедров Б. М., Смирнов П. В., Юдин Б. Г.</b> Взаимосвязь общественных, естественных и технических наук <span style="float: right;">2</span></p>  |
| <p>НАВСТРЕЧУ<br/>XXVI СЪЕЗДУ<br/>КПСС</p>                | <p><b>Лидоренко Н. С., Мучник Г. Ф.</b> Прямое превращение химической энергии в электрическую <span style="float: right;">8</span></p>  |
| <p>НАВСТРЕЧУ<br/>XXVI СЪЕЗДУ<br/>КПСС</p>                | <p><b>Кобринский Г. Д.</b> Интерферон <span style="float: right;">20</span><br/><b>Франк А. И.</b> Ультрахолодные нейтроны <span style="float: right;">30</span></p>  |
| <p>НАВСТРЕЧУ<br/>XXVI СЪЕЗДУ<br/>КПСС</p>                | <p><b>Богословская Л. С., Вотрогов Л. М.</b> Массовые зимовки птиц и китов в полыньях Берингова моря <span style="float: right;">42</span></p>  |
| <p>НАВСТРЕЧУ<br/>XXVI СЪЕЗДУ<br/>КПСС</p>                | <p><b>Тюрюканова Э. Б.</b> Стронций-90 в биосфере <span style="float: right;">44</span></p>   |
| <p>НАВСТРЕЧУ<br/>XXVI СЪЕЗДУ<br/>КПСС</p>                | <p><b>Салам А.</b> Последний замысел Эйнштейна: объединение фундаментальных взаимодействий и свойства пространства — времени <span style="float: right;">54</span></p>  |
| <p>НАВСТРЕЧУ<br/>XXVI СЪЕЗДУ<br/>КПСС</p>                | <p><b>Воропаев Г. В., Косарев А. Н.</b> О современных проблемах Каспийского моря <span style="float: right;">61</span></p>  |
| <p>НАВСТРЕЧУ<br/>XXVI СЪЕЗДУ<br/>КПСС</p>                | <p><b>Ковда В. А., Керженцев А. С., Блистанов А. С., Заблочная Л. В.</b> Приокско-Террасный биосферный заповедник <span style="float: right;">74</span></p>   |
| <p>НАВСТРЕЧУ<br/>XXVI СЪЕЗДУ<br/>КПСС</p>                | <p><b>Торговичев В. А., Климова Н. Т., Фадеев Н. Н.</b> Лидары в экологическом мониторинге (84). <b>Заславская М. Б., Сорокиных В. А.</b> Гидрохимические исследования в бассейне Верхней Оки (85). <b>Золотарева Б. Н., Скрипниченко И. И., Мартин Ю. Л.</b> Лишайники — индикаторы загрязнения среды тяжелыми металлами (86). <b>Булаткин Г. А.</b> Рост кислотности атмосферных осадков (88). <b>Медведева И. Ф., Фадеев Н. Н.</b> Мутность атмосферы — показатель глобального загрязнения (89). <span style="float: right;">91</span></p> |
| <p>КРАСНАЯ<br/>КНИГА</p>                                 | <p><b>Животченко В. И.</b> Амурский тигр. Успехи восстановления вида <span style="float: right;">91</span></p>  |
| <p>ЛАУРЕАТЫ<br/>НОБЕЛЕВСКОЙ<br/>ПРЕМИИ<br/>1980 ГОДА</p> | <p><b>Смондырев М. А.</b> По физике — Дж. Кронин и В. Фитч <span style="float: right;">98</span><br/><b>Баев А. А.</b> По химии — П. Берг, Г. Гилберт, Ф. Сенгер <span style="float: right;">101</span><br/><b>Петров Р. В.</b> По медицине — Дж. Снелл, Б. Бенацераф, Ж. Доссе <span style="float: right;">104</span></p>  |
| <p>НОВОСТИ<br/>НАУКИ</p>                                 | <p><span style="float: right;">107</span></p>   |
| <p>КНИГИ, ЖУРНАЛЫ</p>                                    | <p><b>Новиков И. Д.</b> По поводу теории относительности (120). <b>Гагина Н. Т., Сухомиров Г. И.</b> Плохая услуга читателям (122). <span style="float: right;">120</span></p>  |
| <p>НОВЫЕ КНИГИ<br/>В КОНЦЕ<br/>НОМЕРА</p>                | <p><b>Шитикова Л. М.</b> Выставка художников-анималистов <span style="float: right;">124</span><br/><span style="float: right;">127</span></p>  |

## Взаимосвязь общественных, естественных и технических наук

Академик Б. М. Кедров

П. В. Смирнов,  
кандидат философских наук

Б. Г. Юдин,  
кандидат философских наук  
Москва

Усиление взаимосвязи между общественными, естественными и техническими науками представляет собой одну из магистральных тенденций развития современного научного познания. Далеко не случайно то обстоятельство, что о необходимости усиления этой взаимосвязи говорилось в решениях XXIV и XXV съездов КПСС, — ведь речь в данном случае идет не просто о вопросе текущей, сиюминутной значимости, а о целой совокупности процессов, отражающих и новые практические возможности науки, и ее возрастающую роль в жизни общества, и ее все более широкое и многогранное участие в решении социально-экономических, культурно-воспитательных и иных проблем общественного развития. Да и сами эти проблемы ныне все чаще оказываются столь масштабными и сложными, что их решение без опоры на научные знания и методы зачастую бывает попросту невозможным.

Взаимодействие и взаимовлияние общественных, естественных и технических наук в тех или иных формах происходило на всех этапах истории науки. В этой связи достаточно вспомнить о том, какое значительное методологическое влияние на социальные науки оказали механика Ньютона или эволюционное учение Дарвина, а в этом столетии — теория относительности Эйнштейна или концепция дополнительности Бора. Можно напомнить и о том, какие мощные импульсы для развития многих областей естествознания дало изобретение и последующее совершенствование телескопа, механических часов или паровой машины. Отметим, наконец, что и формы подготовки ученых и организации исследо-

ваний, сложившиеся первоначально в естествознании, послужили прообразом для технических наук. Все это понятно — ведь наука была и остается единым и относительно автономным в рамках общества, как целого, социальным институтом, а деятельность ученых во всех областях знания опирается на некоторые общенаучные исходные методологические установки.

Тем не менее сегодня усиление взаимосвязей между общественными, естественными и техническими науками приобретает качественно новые черты — то, что раньше было совокупностью отдельных, частных эпизодов, ныне начинает выступать как единый процесс, затрагивающий самые разные стороны бытия науки и ее соотношений с практикой.

На последнем обстоятельстве следует остановиться особо. С известной долей условности можно выделить два типа, два механизма связи науки с практикой. Первый из них характеризуется тем, что основу связи составляет то или иное научное открытие, которое получает практическое воплощение в виде нового технологического процесса, нового оборудования и т. д. Во втором случае, напротив, исходным моментом является какая-либо проблема, возникающая на практике, для решения которой оказывается необходимым построение особого блока научных знаний. Отчасти здесь могут использоваться уже имеющиеся знания, отчасти — знания, которые еще надлежит получить. Важно то, что этот блок знаний не может, как правило, строиться на основе отдельной научной дисциплины или даже группы родственных дисциплин — он неизбежно оказывается многодисципли-

нарным, опирается на данные и методы и естественных, и общественных, и технических наук. Таким образом, в первом случае доминирует движение от науки к практике, а во втором — от практики к науке.

Первый тип связей между наукой и практикой является исторически исходным. Однако в последние десятилетия все чаще стали обнаруживаться его теневые стороны — слабая обратная связь между практикой и наукой, а также характерная для него монодисциплинарная перспектива при внедрении научных открытий в практику. Все это приводит к тому, что нередко наряду с прямым эффектом такое внедрение приводит ко вторичным последствиям, а они далеко не всегда бывают благоприятными.

Сегодня же, при наличии мощного научно-технического потенциала, при возросшем социальном авторитете науки и в условиях, когда практика все чаще ставит комплексные, масштабные проблемы, становится и возможным и необходимым переход ко второму типу взаимодействия науки с практикой и формирование соответствующих блоков, включающих общественнонаучные, естественнонаучные и технико-научные знания.

Наиболее характерный пример такого формирующегося блока являет собой экология. Экологические проблемы возникли не сегодня. Их возраст — возраст цивилизации. Но только к середине XX в. они из теневых и практически неразличимых превратились в первостепенные. Таково одно из важнейших следствий протекания НТР и установления ею нового типа отношений природы и общества.

Одно из главных выражений общественного прогресса — это, как известно, неуклонный рост уровня обобществления труда. Сугубо формальный его срез тождествен увеличению пространства социальной деятельности, или социального пространства. Еще недавно оно было локальным и региональным. НТР, резко поднимая уровень обобществления, разрывает локальные границы социальной активности. Другими словами, по мере превращения науки в непосредственную производительную силу сами производительные силы общества становятся планетарными.

В связи с пространством меняется, и притом сопряженно, временная метрика труда. Поэтому планетарной его геометрии соответствует строго определенный ход социального времени. Только такая метрика позволяет полно выразить достигнутый ныне уровень обобществления труда.

Нарушение требований сопряжения, попытки оторвать, изолировать друг от друга пространство и время искажают картину экопроблем и исключают их оптимальное решение. Однако сегодня мы, как правило, имеем дело именно с такого рода односторонней практикой: разрозненные атаки на планетарные проблемы осуществляются обычно с помощью механического объединения национальных ресурсов. В итоге в геофизическом пространстве Земли оказываются сваленными в одну кучу различные национальные метрики труда. На первых порах такая практика неизбежна и вполне естественна. Но нужно отдавать себе ясный отчет в ее ограниченности: за редким исключением национальные капиталы не способны обеспечить ту скорость хода социального времени, которую требует планетарное социальное пространство.

Выход напрашивается сам — привести в соответствие одно с другим, выровнять региональные метрики, подтянув их до объективной метрики оптимального решения экопроблем. Но по какому плану, как, под чьей международной эгидой целесообразно развернуть эту глобальную работу — пока все эти вопросы останутся открытыми.

Расширение социального пространства и ускорение хода социального времени, стало быть, не сводимо к тощей абстракции, а имеет богатый, сугубо содержательный смысл.

Так, человек долгое время рассматривал природу как чуждую себе силу, которую нужно покорять, подчинять. По отношению к ней он вел себя как завоеватель, он измерял прогресс степенью господства над природой. Иначе и быть не могло. Однако Земля могла терпеть порою хаотическое и бездумное поведение своего «высшего продукта» до тех пор, пока она была способна стихийно нивелировать негативные эффекты его деятельности, автоматически воспроизводить всеобщие, естественные условия жизни. Но с превращением деятельности людей в планетарную, с ростом мощи этой деятельности, а стало быть, и объема негативных эффектов нарушается механизм стихийного воспроизводства всеобщих условий жизни на Земле. Ранее мало различимые отрицательные экологические следствия деятельности превращаются в глобальные. В повестку дня становятся необходимость принципиально изменить отношение человека к природе.

НТР заставляет отказаться от рассмотрения природы только как средства, при-

учает людей воспринимать ее как цель деятельности. Это значит, что отныне развитие человека и развитие природы из двух частично пересекающихся процессов превращаются в единый космический процесс... «Мы отнюдь не властвуем над природой так, — писал Ф. Энгельс, — как завоеватель властвует над чужим народом, не властвуем над ней так, как кто-либо находящийся вне природы... мы, наоборот, нашей плотью, кровью и мозгом принадлежим ей и находимся внутри ее... все наше господство над ней состоит в том, что мы, в отличие от всех других существ, умеем познавать ее законы и правильно их применять»<sup>1</sup>.

Совершенство свои физические и духовные потенции, человек одновременно развивает и потенции остальной природы.

При всем внимании к экопроблемам мы еще недооцениваем опасности нарушения нормального хода взаимодействия между природой и обществом, размеров средств, необходимых для устранения эконарушений. Всесторонняя и правильная оценка таких расходов, проведенная с позиции самых различных наук, могла бы показать, что экопроблемы уже сегодня представляют собой наиболее капиталоемкие пункты деятельности. Поэтому эпоха, в отличие от своих предшественниц, способна существовать только в условиях рационального общественного строя, уничтожения всех форм социального паразитизма и социальной патологии. Особенно нетерпимым в этом отношении становится милитаризм, прямо ведущий к войне — в наш век она тождественна самоубийству. Однако, высасывая ресурсы, милитаризм исключает эффективное решение возникающих экопроблем, а стало быть, и контроль человека над природными процессами, втянутыми им в орбиту своей практической деятельности. Все это может быстро довести колебания основных параметров среды обитания человека до тех значений, которые уже не способен выдержать его организм.

Поэтому борьба против милитаризма есть борьба за сохранение самих корней жизни на Земле — за чистый воздух, за чистую воду, за благоприятные для экономики погодные условия и т. п. Это борьба за рационализацию и гуманизацию общественных отношений на нашей планете. Вершина и исходный пункт нового рационализма — осмысление ценности жизни каждого человека в структуре общественного цело-

го. Такое изменение и есть начало новой цивилизации, в которой «должно быть надежно обеспечено первейшее право человека — право на жизнь, на мир»<sup>2</sup>, и где сохранение и упрочение мира, по выражению В. Брандта, должно стать выше всех различий во мнениях<sup>3</sup>.

Мы видим, что изменение роли и значения человека в системе социума симметрично изменению характера отношений между природой и обществом. Если на генетической фазе человек случаен для такой системы, а существенно только целое (Гегель выразил это идеей доминирования целого над частью; отзвуки этой идеи мы слышим повсюду и сегодня), то на современной фазе развития общества возникла ясная и мощная тенденция сделать каждого человека субстанциональным явлением в системе общественного целого, элементом, ей тождественным. Это и значит, что жизнь не только народов и государств, но и каждого человека в отдельности становится абсолютной точно так же, как жизнь всей цивилизации (Л. И. Брежнев выразил эту тенденцию идеей о первейшем праве человека — праве на жизнь). Ясно, что дать сколько-нибудь полную картину столь мощного природно-социального преобразования способна только комплексная наука.

Таким образом, экологические задачи как позитивные (прогноз погоды, управление ею, экономия ресурсов и т. д.), так и негативные (очистка и восстановление воздуха, воды, почвы и т. д.) требуют предельно высокого обобществления труда, т. е. планетарного его обобществления. Международная кооперация усилий в самых различных областях науки и техники становится жизненной потребностью.

Нашей стране есть чем поделиться с международным сообществом. Она — последовательный сторонник того, чтобы отношения человека к природе становились более гармоничными и рациональными. С особой силой это подчеркнуто в разделе «Охрана природы» проекта ЦК КПСС «Основные направления экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года».

Современная экологическая ситуация и тенденции ее развития ставят перед человечеством множество новых, острых и сложных проблем. И можем ли мы сказать, что экологические проблемы целиком ох-

<sup>1</sup> Маркс К. и Энгельс Ф. Соч., 2-е изд., т. 20, с. 496.

<sup>2</sup> Ответ Л. И. Брежнева на вопросы редакции «Правды». — Правда, 1980, 30 июня.

<sup>3</sup> Обмен посланиями между Л. И. Брежневым и В. Брандтом. — Правда, 1980, 14 августа.

вываются сферой только естественных, либо только общественных, либо только технических наук? Очевидно, нет. Их решение — как на уровне построения единой теории взаимодействия общества и природы, так и на уровне разработки более конкретных и частных вопросов — предполагает самое непосредственное участие представителей всех этих групп наук.

Совершенно ясно, что правильные оценки и решения экопроблем немыслимы без тесного взаимодействия всех без исключения существующих наук, и в первую очередь обществоведения, технических дисциплин и естествознания. Когда же искусственно разрывается связь между ними и к экопроблеме подходят односторонне, получают самые различные казусы.

Только синтетический взгляд, интегрирующий естествознание и обществоведение, позволяет правильно видеть, с одной стороны, общественные формы вовлечения и функционирования новых природных процессов в орбиту практической деятельности, а с другой — естественнонаучные и технические содержательные «наполнители» тех или иных форм социальности. Другими словами, такой взгляд позволяет увидеть современную общность, единство природы и общества, а равно и специфику того и другого. Поэтому он менее всего похож на нечто аморфное и неразличимое. Ведь все большее единство природы и общества обнаруживается жадный раз тогда, когда выявляется специфика того и другого. А это предполагает дальнейшую дифференциацию наук, которая в свою очередь через некоторое время потребует синтеза. И глупо абсолютизировать один из этих процессов и противопоставлять его другому. В свое время в нашей литературе справедливо критиковали попытки распространить на социум общеприродные модели и объяснять с их помощью специфику социальности. В. И. Ленин назвал это дело «переодеванием» ранее добытого знания в модную терминологию<sup>4</sup>. Путного от этого «переодевания», конечно, ничего не могло выйти. Но столь же бесплодной оказывается и другая крайность — абсолютизация, например, специфики общественных процессов. У нас есть немало авторов соблюдающих и требующих табу на поиск путей интеграции основных естественнонаучных, технических и общественнонаучных понятий и законов. Но ведь развивать ту или иную, в том числе общественную, науку независимо от других наук можно только

в тех рамках, в которых они обладают относительной самостоятельностью. И не более того! Как только такие рамки объективно оказываются пройденными, на возникшие в это время вопросы данная наука уже не способна ответить. Она вынуждена обращаться к другим наукам. Так между всеми науками неизбежно возникает и пульсирует своеобразный идейный ток. Он и превращает все многообразие научного знания в единое целое, в единую науку. (Размышления над законами движения этого «идейного тока» позволяют видеть некоторые новые моменты известной теоремы неполноты Геделя.)

Но дело не только в синтетическом характере объема экологического исследования. Более существенно то, что каждая из рассматриваемых групп наук, входя в единую систему науки, вместе с тем обладает своими специфическими особенностями. Этот вопрос — применительно к соотношению социального и естественнонаучного познания — ставился в ряде направлений буржуазной философии, в неокантианстве, представители которого доводили эту специфику до полного противопоставления наук о природе и наук о культуре. Такую позицию трудно признать плодотворной. С нашей точки зрения, специфика эта ведет не к противопоставлению, а к своеобразной взаимодополнительности общественных, естественных и технических наук.

Так, обращаясь к взаимодействию общества и природы, социальное познание ставит и изучает вопросы о том, каковы цели, преследуемые человеком в этом взаимодействии, на какие ценности он опирается или должен опираться в своей преобразующей деятельности, какими будут социальные последствия в случае, если общество выберет тот или иной курс действий в своих взаимоотношениях с природой.

Естествознание открывает принципиально новые возможности для взаимодействия человека с природой и вместе с тем выявляет допустимые по тем или иным параметрам пределы вмешательства человека в ход естественных процессов. Что касается технических наук, то в сферу их интересов входит прежде всего создание и совершенствование средств взаимодействия общества и природы, причем таких средств, которые были бы не только эффективны экономически, но и приемлемы с точки зрения социальной и экологической.

Очевидно, таким образом, что, если говорить в будущем, то для построения единой теории взаимодействия общества

<sup>4</sup> Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 18, с. 348.

и природы, для рационального управления этим взаимодействием существенно важна взаимодополнительность познавательных средств и подходов общественных, естественных и технических наук. Но не менее важно и то, что такая взаимодополнительность оказывается необходимой и при решении конкретных и неотложных экологических проблем, стоящих на повестке дня уже сегодня.

Сходная ситуация складывается и в такой сравнительно недавно возникшей и интенсивно развивающейся отрасли знания, как эргономика. Ее задача — целостное проектирование и оптимизация трудовой деятельности человека, оперирующего с современными техническими устройствами и системами. Существует множество научных дисциплин, занятых изучением труда — здесь и социология труда, и инженерная психология, и техническая эстетика, и физиология, и биомеханика, и гигиена труда. Наряду с этим многие естественные и технические науки исследуют и разрабатывают средства труда, такие, как современные высококоординированные и автоматизированные технические системы. Что же касается эргономики, то она, конечно, опирается на данные всех наук: общественных, естественных и технических, так или иначе изучающих труд. Однако она имеет особый объект исследования: системы «человек — машина — окружающая среда», которые она рассматривает в их целостности, во взаимодействии их компонентов. Такой комплексный подход — необходимое условие для создания новой техники, которая, обладая высокой производительностью, надежностью и экономичностью, может способствовать достижению социальных результатов — сохранению здоровья людей и развитию личности в процессе труда, повышению содержательности, эффективности и качества человеческой деятельности как в сфере труда, так и везде, где человеку приходится вступать в контакт с современной техникой.

Обе рассмотренные проблемы можно интегрировать в качестве составных частей столь глобальной проблемы, как управление ходом научно-технической революции. Сюда входит выявление и изучение основных тенденций и вариантов НТР, анализ и оценка ее многообразных социальных последствий с тем, чтобы иметь возможность заранее предвидеть и нейтрализовать возможные негативные эффекты научно-технического прогресса.

В более конкретном выражении эта

проблема выступает как проблема всесторонней, комплексной оценки создаваемых и проектируемых технологических процессов и новых типов оборудования. Очевидно, такая комплексная оценка возможна только на основе тесной взаимосвязи между основными группами наук. Особая роль принадлежит здесь наукам общественным, призванным оценивать не только в целом, но и на уровне отдельных, конкретных научно-технических нововведений с точки зрения импульсов общественного развития и развития личности.

Говоря о ближайших перспективах взаимодействия наук, отметим то обстоятельство, что ныне в сфере управления социально-экономическим и научно-техническим развитием все более видную роль играет программно-целевой метод. Так, в десятой пятилетке у нас в стране осуществлялось около 200 комплексных программ, охватывающих важнейшие проблемы дальнейшего развития хозяйства. В будущем же разработка и осуществление таких программ станет основным методом планирования и организации в народном хозяйстве. Эта перестройка имеет принципиальное значение, поскольку она позволяет строить всю работу по реализации каждой программы целенаправленно, ориентируясь на четко определенные конечные результаты, дающие необходимый социально-экономический и народнохозяйственный эффект. При этом важно, чтобы словосочетание «комплексная программа» не становилось бы просто новым названием, скрывающим за собой традиционные методы хозяйствования, и чтобы широкое применение комплексных программ не породило организационно-управленческой неразберихи.

Вместе с тем такая перестройка открывает новые возможности для установления органических связей между наукой и практикой. Представляется целесообразным организовывать дело так, чтобы каждая применяемая комплексная программа в обязательном порядке получала всестороннее научное обоснование. Речь идет именно о всестороннем, а не об одном лишь технико-экономическом обосновании. Оно может принимать форму экспертизы, когда компетентные специалисты, представляющие различные отрасли общественных, естественных и технических наук, оценивают предлагаемую программу с точки зрения перспективности предусматриваемых в ней научно-технических решений, с точки зрения эффективности предлагаемой структуры управления программой, с точки зрения рационального использо-

вания естественных ресурсов и защиты окружающей среды, с точки зрения возможных социальных последствий реализации программы и т. д. Такая экспертиза позволит выявить узкие места и максимально использовать имеющиеся резервы, определить те научно-технические проблемы, решение которых необходимо для успешного осуществления программы.

Во многих случаях, видимо, придется предусматривать и создание в рамках программы междисциплинарной научной группы — своеобразного «мозга» программы — для всесторонней оценки различных вариантов ее реализации и для оперативного исследования и решения возникающих в ходе претворения программы проблем, требующих непосредственного участия ученых. В качестве прототипа здесь можно рассматривать Научный совет АН СССР по проблемам БАМ, опыт работы которого в этом отношении заслуживает самого тщательного изучения. Участие ученых разных специальностей в составлении и реализации комплексных программ, очевидно, должно быть соответствующим образом оформлено, для чего придется решить целый ряд организационных и методических вопросов.

Усиление взаимодействия общественных, естественных и технических наук уже сегодня ставит перед наукой новые проблемы и методологического, и социально-организационного порядка. Коротко остановимся на некоторых из них.

Прежде всего возникает вопрос о том, в каком отношении находятся эти процессы к существующему дисциплинарному строению науки. Порой высказывается точка зрения, согласно которой они ведут к некоей всеобъемлющей и унифицированной науке будущего. «При этом, — справедливо отмечает П. Н. Федосеев, — упрощенно толкуется афоризм К. Маркса об одной науке в будущем. Вся совокупность теоретических соображений и вся исследовательская практика К. Маркса, Ф. Энгельса и В. И. Ленина свидетельствует о том, что речь идет не о замене всех наук одной наукой, а об общности методологических основ научных понятий и неизбежности их прогрессирующего органического синтеза»<sup>5</sup>.

Действительно, как мы видели, взаимодействие наук осуществляется не «вообще», а в связи с изучением конкретных практических и научных проблем и ведет к образованию новых блоков, комплексов

общественнонаучного, естественнонаучного и технического знания. За этим взаимодействием, следовательно, стоят процессы не только интеграции, но и дифференциации научного знания, появления новых исследовательских областей и направлений.

Можно, таким образом, утверждать, что усиливающаяся взаимосвязь наук никоим образом не совпадает с ликвидацией выработанной в ходе многовекового развития науки дисциплинарной формы организации научной деятельности, тем более что сама эта форма обладает достаточной гибкостью для того, чтобы не только существовать, но и быть эффективной в новых, быстро меняющихся условиях.

Тем не менее процессы интенсификации взаимодействия наук не могут не сказываться на самых разных аспектах научной деятельности. Они, в частности, порождают новые требования к научному работнику, которому все чаще приходится участвовать в исследованиях широкого профиля, и который поэтому не может более оставаться узким специалистом, жестко ограниченным рамками своей дисциплины. Ему необходимо видеть место своей дисциплины, своего направления исследований в общенаучном контексте, в свете усиления взаимосвязей между наукой и практикой. Речь, конечно, не идет о том, что он должен все знать, а о том, что он должен воспринимать широкие междисциплинарные контакты и связи не как нечто из ряда вон выходящее, а как норму, что он должен быть внутренне настроен на общение такого рода.

Еще одна проблема, встающая на повестку дня, связана с возможностями публикации результатов исследований столь широкого плана. Как показывает практика организации и проведения междисциплинарных исследований<sup>6</sup>, участвующие в них исследователи испытывают затруднения в связи с тем, что у них уменьшаются возможности печатания своих работ в специальных научных журналах. В ряде случаев это отрицательно влияет на мотивацию участия в таких исследованиях. Некоторые дополнительные возможности в этом плане открывают научные журналы, адресующиеся к широкой аудитории. В целом, однако, этот вопрос еще ждет решения.

<sup>5</sup>См. в этой связи: Мирский Э. М. Междисциплинарные исследования и дисциплинарная организация науки, М.: Наука, 1980.

<sup>6</sup>Федосеев П. Н. Вопросы философии, 1978, № 7, с. 23.

## Прямое превращение химической энергии в электрическую

Н. С. Лидоренко, Г. Ф. Мучник



Николай Степанович Лидоренко, член-корреспондент АН СССР, профессор, заведующий кафедрой Московского физико-технического института, председатель совета «Возобновляемые источники энергии» Государственного комитета СССР по науке и технике. Занимается вопросами теории и эксперимента непосредственного преобразования различных видов энергии в электрическую, проблемами физики поверхностных явлений, физическими аспектами кибернетики. Автор (совместно с Г. Ф. Мучником и П. Б. Рубашовым) книги: *Методы теории теплообмена*. М.: Высшая школа, 1970. В «Природе» опубликовал статью (совместно с Г. Ф. Мучником): *Экологическая энергетика* (1974, № 9).



Григорий Фроимович Мучник, доктор технических наук, профессор Московского физико-технического института. Занимается вопросами теплофизики и методами непосредственного преобразования различных видов энергии в электрическую. В «Природе» опубликовал статью: *Экологическая энергетика* (1974, № 9).

Среди перспективных проблем энергетики важное место в экологическом и экономическом отношении занимают проблемы непосредственного (безмашинного) преобразования химической энергии природных или синтезированных видов топлива в электрическую энергию. Актуальность этой проблемы очевидна, если учесть, что в настоящее время около 90% всей полезной энергии (электрической и механической) получается из тепловой энергии природного топлива. Причем в традиционных (машинных) схемах и устройствах производства электроэнергии до сих пор используется многостадийная схема преобразования, недостаточно эффективная, со средним коэффициентом преобразования 25%.

Характерной особенностью такой схемы является последовательность стадий преобразования: химическая энергия → тепло → механическая энергия → электричество. Коэффициент преобразования химической энергии в тепловую определяется циклом Карно, т. е. зависит, в частности, от разности температур теплового потока.

Между тем в инженерной практике в так называемых схемах непосредственного (безмашинного) преобразования уже разработаны и находят применение устройства, демонстрирующие высокий коэффициент преобразования, например химической энергии в электрическую, приближающийся к 100%.

Чем определяется высокое значение

коэффициента полезного действия в этих схемах? Прежде всего, отсутствием многостадийного массообмена на молекулярном уровне, предопределяющим низкий (суммарный) КПД традиционных схем. Обмен зарядами в схемах непосредственного преобразования происходит на электронном уровне. Молекулярные газообразные, жидкофазные или твердофазные структуры в кинетике массообмена (образование заряженной пары частиц) не участвуют.

Обмен зарядами в схеме генерирования происходит на поверхности раздела фаз — границе электронных континуумов. Общий запас энергии системы определяется разностью свободных энергий носителей, образующих фазовый переход. Кинетика же процесса генерирования зависит от топологии тонкой структуры границы раздела.

Несмотря на относительную простоту объяснения, кинетическая теория преобразования химической энергии в электрическую до конца не разработана. Причина в том, что сама среда (тонкая структура границы раздела фаз) по своей физической сущности сугубо нелинейна.

Следовательно, описать математически процессы так, чтобы отобразилось истинное распределение энергии (зарядов) на границе раздела фаз, пока невозможно.

Трудности заключаются в том, что сложно описать энергетические спектры самих анизотропных структур. Кроме того, существуют математические ограничения в решении кинетических уравнений переноса в обобщенном виде. Поиск таких решений составляет сегодня предмет теоретических и экспериментальных исследований ряда новейших разделов физики.

Современные направления нелинейной термодинамики, механики и электродинамики разрабатываются или частично разработаны пока лишь для «простых» моделей среды. Для них еще справедливы линейные соотношения между силами и потоками. Кинетические же уравнения переноса зарядов, как правило, базируются на квазистатических приближениях и экспериментальных данных.

На примере новейших электрогенерирующих структур — электрохимических генераторов, разработка которых только начинается, опишем состояние теоретических и экспериментальных исследований в этой перспективной области знаний.

## КАК РАБОТАЕТ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР

Известно, что коэффициент непосредственного преобразования химической энергии в электрическую в современных химических источниках тока (гальванических элементах, аккумуляторах) составляет 50—80%. Однако энергия таких устройств ограничена конструктивным запасом активных материалов в них. Поэтому в последние годы в ряде стран проводятся исследования по созданию электрохимических генераторов, в которых электроэнергия генерируется за счет подачи в зону реакции топлива и окислителя, содержащихся в отдельных резервуарах.

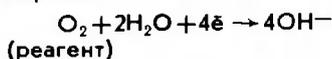
Таким образом, схема обеспечения реагентами в генераторах сходна с машинной, т. е. продолжительность их работы определяется «внешним» запасом реагентов. Однако здесь сохраняется присущий химическим источникам тока высокий коэффициент использования топлива. Теоретические расчеты показывают, что электрохимические генераторы могут иметь КПД, приближающийся к 100%. (Реальный КПД на первых созданных в СССР водородно-кислородных установках достигает 80%.)

В отличие от химических источников тока, в электрохимических генераторах для производства электрической энергии в качестве реагентов используются не металлы или их соединения, а неэлектропроводные вещества, значительно менее дорогие и недефицитные: водород, кислород, водородсодержащие газы. Поэтому генераторы в сравнении с классическими аккумуляторами и гальваническими элементами обладают малой материалоемкостью.

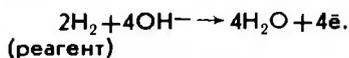
Кроме того, известен ряд специфических эксплуатационных областей и условий, при которых трудно или невозможно использовать обычные машинные системы преобразования (например, автономная эксплуатация энергетических устройств в невесомости, в отсутствие кислородсодержащей атмосферы; схемы автономного электродвижения; требования экологии и др.). Здесь уже сегодня схемы прямого преобразования, несмотря на высокую начальную стоимость, предпочтительнее классических источников энергии. Поэтому исследования по созданию электрохимических генераторов, или, как их еще называют, топливных элементов, весьма перспективны.

С общих позиций, получение электрической энергии в электрохимическом ге-

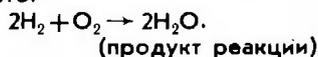
нераторе можно описать как процесс генерации электронов на одном из электродов и рекомбинации их на другом. В результате из исходных реагентов образуется новое химическое соединение — продукт реакции. В зависимости от структуры реагентов реакция на электродах топливных элементов протекает по различным промежуточным стадиям. Однако конечным результатом является окисление горючего на одном из электродов и восстановление окислителя на другом. Так, для водородно-кислородного электрохимического генератора с щелочным электролитом реакцию, протекающую на кислородном электроде, можно записать следующим образом:



и на водородном электроде:



Таким образом, суммарная реакция в элементе:

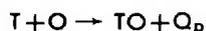


Процессы окисления и восстановления происходят на электродах в присутствии катализаторов, ускоряющих эти реакции и обеспечивающих увеличение плотности генерируемой энергии в десятки и сотни раз. В качестве катализаторов используются благородные (платина, палладий, серебро), переходные (никель) и ряд других металлов и их соединений (например, карбид вольфрама).

Однако не весь процесс генерации проходит «организованно» с производством полезной работы — выработкой электрической энергии.

В «неорганизованном» процессе энергия расходуется на соударения молекул, образующихся в результате реакции, т. е. на их нагревание и излучение (тепловой процесс).

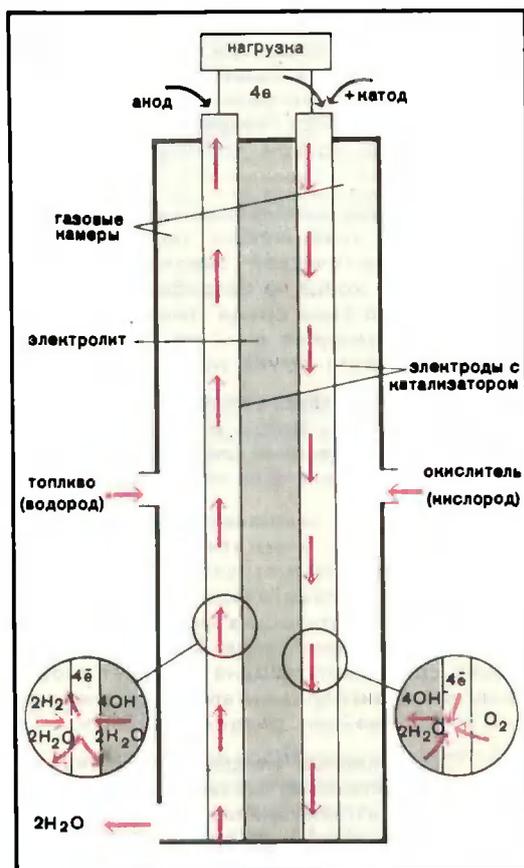
Рассмотрим систему (топливный элемент), состоящую из двух электродов, находящихся в контакте с электролитом и соединенных внешней электрической цепью. К одному из электродов подводится топливо Т (в нашем случае водород), к другому — окислитель О (кислород). Чрезвычайно важно, что топливо и окислитель разделены пространством и не соединяются между собой непосредственно, как это происходит, например, в процессе горения, где продукты реакции  $\text{TO}$  образуются с выделением теплоты  $Q_p$ :



В топливном элементе на каждом из электродов происходит процесс ионизации реагентов. Ионы мигрируют через электролит, а электроны, генерируемые на одном из электродов, совершают полезную внешнюю работу  $W$  и рекомбинируют на другом электроде. Таким образом, суммарная реакция в электрохимическом генераторе имеет вид:



где  $E$  — выработанная за счет переноса



Принципиальная схема работы элемента электрохимического генератора. В газопроводящие камеры поступают реагенты: топливо (водород) и окислитель (кислород). На одном из электродов (аноде) происходит генерация электронов. После совершения работы во внешней цепи электроны рекомбинируют на другом электроде (катоде). В результате реакции, происходящей при постоянной температуре и давлении, вырабатывается электрическая энергия, выделяется тепло и образуется продукт реакции (вода).

электронов во внешней цепи электрическая энергия (полезная работа),  $Q$  — остаточное тепло.

Следует обратить внимание на одно чрезвычайно важное обстоятельство: для получения энергии в электрохимическом генераторе не нужен градиент температуры. Иначе говоря, здесь не требуется двух источников: «верхнего» с температурой  $T_1$  (температура пара в котлах, газов в двигателе внутреннего сгорания) и «нижнего» с температурой  $T_2$  (температура воды в градирнях электростанций, в радиаторах автомобиля), существование которых обязательно для машинных (каскадных) методов преобразования. В том, что электрохимический генератор не требует для своей работы перепада температур, наблюдается явная аналогия с биологическими объектами. Например, человеческий организм, у которого нет «нагревателя» и «холодильника» обычного типа, является высокоэффективной системой, работающей при постоянной температуре.

Каков же принцип работы топливных элементов? Как генерируется в них энергия с высоким КПД? Обратимся к термодинамике.

### ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР — АНАЛОГ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОГЕНЕРИРУЮЩИХ СТРУКТУР

Переход одной формы энергии в другую описывается первым законом термодинамики, по существу, законом сохранения энергии:

$$-\Delta U = -Q + W,$$

т. е. убыль внутренней энергии системы  $\Delta U$  расходуется на выделение теплоты  $Q$  и совершение работы  $W$ .

Сжигание топлива на электростанциях, в двигателях внутреннего сгорания, в атомном реакторе — процесс, связанный с превращением внутренней энергии в тепло и полезную работу. Предельный КПД этих процессов, как правило, замкнутых, циклических определяется из второго закона термодинамики. Он достигается в цикле Карно, состоящем из двух адиабат ( $Q=0$ , т. е. если вся внутренняя энергия превращалась бы на участках цикла в работу) и двух изотерм ( $\Delta U=0$ , т. е. если все тепло превратилось бы в работу):

$$\eta_1 = \frac{W}{Q} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$

Здесь  $T_1$  и  $T_2$  — максимальная и минимальная температуры цикла, необходимые для совершения работы. Поскольку  $\frac{T_2}{T_1} > 0$ , КПД цикла Карно  $\eta_1$  всегда меньше единицы. Это — предельное значение, в действительности КПД реальных циклов меньше, чем в цикле Карно. Предсказать полноту превращения энергии, кинетику процессов в реальных циклах можно лишь на основе экспериментальных данных.

Системы, работающие в циклических режимах, являясь замкнутыми — здесь с окружающей средой возможен обмен только энергией. Вещество же циркулирует внутри системы от одного источника к другому и не выходит в окружающую среду (или наоборот, не поступает в систему извне).

Электрохимические генераторы, как и биологические структуры, представляют собой открытые системы, которые могут обмениваться с окружающей средой не только энергией, но и веществом. В этом случае закон сохранения энергии записывается следующим образом:

$$\Delta U = -Q + W + \sum \mu_i \Delta n_i,$$

где  $\mu_i$  — химический потенциал вещества<sup>1</sup>,  $\Delta n_i$  — изменение количества вещества (в молях) в результате химических реакций и вследствие массообмена через границу. Из уравнения видно, что полезная работа  $W$  может быть получена не только за счет изменения  $\Delta U$  или  $Q$ , но и благодаря изменению  $\Delta n$ .

Рассмотрим открытую систему, в которой температура и давление постоянны (изобарно-изотермический процесс). К таким системам относится, в частности, и электрохимический генератор. В этом случае  $\Delta U=0$  (для простоты считаем реагирующие газы идеальными, а это означает, что при  $T=\text{const}$ ,  $\Delta U=C\Delta T$ ,  $C$  — теплоемкость). Следовательно,

$$\sum \mu_i \Delta n_i = Q - W,$$

т. е. теплота и полезная работа могут быть получены за счет изменения «химической» энергии реагирующих веществ.

Напомним, что химическая термодинамика позволяет выразить предельную ра-

<sup>1</sup>Химический потенциал — параметр состояния системы, играющий роль силы при распределении масс компонентов. Так, при разных  $\mu_i$  в двух фазах происходит переход компонента из фазы с большим значением  $\mu_i$  в фазу с меньшим значением.

боту процесса через изменение характеристических функций. Для изобарно-изотермического процесса это — функция (энергия) Гиббса:

$$G = I - TS,$$

где  $I$  — теплосодержание (энтальпия) системы,  $S$  — ее энтропия. Заметим, что теплота реакции, определенная экспериментально, равна изменению теплосодержания:

$$Q_p = \Delta I.$$

Тогда предельная работа при изобарно-изотермическом процессе:

$$W_{\text{пред.}} = \Delta G = \Delta I - T\Delta S = Q_p - T\Delta S.$$

Коэффициент полезного действия процесса равен отношению максимальной полученной работы к затраченной на процесс энергии:

$$\eta = \frac{W_{\text{пред.}}}{Q_p} = 1 - \frac{T\Delta S}{Q_p}.$$

Это и есть предельное значение КПД для открытой изобарно-изотермической системы.

Как видим, его математическая запись отражает принципиальное отличие от КПД для цикла Карно. Если последний всегда меньше единицы, то для открытой изобарно-изотермической системы КПД может быть больше, равен или меньше единицы. Это соответствует процессам, протекающим с выделением тепла в окружающую среду ( $\Delta S > 0$ ,  $\eta < 1$ ); процессам, осуществляемым без теплообмена ( $\Delta Q = 0$ ,  $\Delta S = 0$ ,  $\eta = 1$ ); процессам, происходящим с поглощением тепла ( $\Delta S < 0$ ,  $\eta > 1$ ). Следовательно, в полезную работу можно превратить не только «химическую» энергию реагентов, но и тепло окружающей среды: система способна работать и как «тепловой насос».

Таким образом, выработка электрической энергии в электрохимическом генераторе, как и в биологических объектах, происходит при постоянных температуре (изотермическая, однопотенциальная система) и давлении, и организовывать цикл с перепадом температур ( $T_1 - T_2$ ) нет необходимости<sup>2</sup>.

Нами были проведены расчеты КПД для веществ, представляющих наибольший интерес при их использовании в качест-

КПД ( $\eta$ ) — показано цветом — и электродвижущая сила (ЭДС) некоторых реакций преобразования химической энергии в электрическую. Рассмотрены возможности для использования в электрохимическом генераторе газов, содержащих водород. (Расчеты проведены для идеальных газов.)

ве реагентов электрохимических генераторов. Анализ показывает, что для некоторых реакций, как и предполагалось, КПД может быть больше единицы. Это не противоречит законам термодинамики, поскольку речь идет об открытой однопотенциальной системе<sup>3</sup>.

#### АНАЛИЗ РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРА. ДВА ПОДХОДА

Термодинамика позволяет вычислить и другой важный параметр — электродвижущую силу источника энергии  $E_0$ .

Величину ЭДС можно найти, используя значение теплоты реакции  $Q_p$ :

$$E_0 = \frac{Q_p}{Z\Phi} + T \left( \frac{\delta E}{\delta T} \right)_p,$$

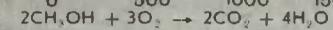
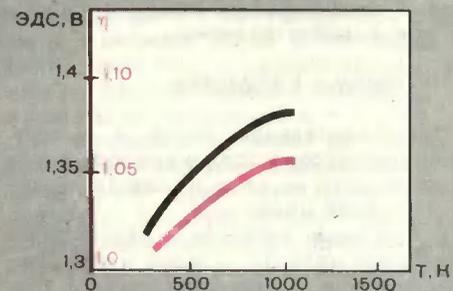
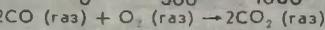
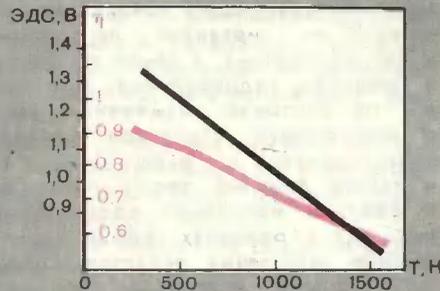
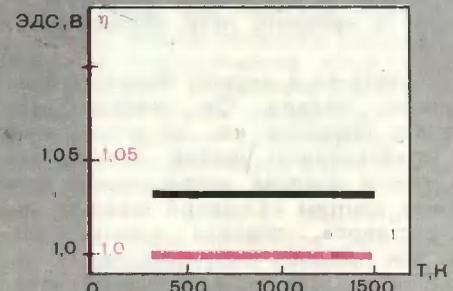
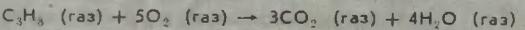
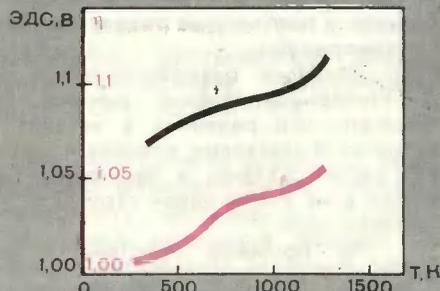
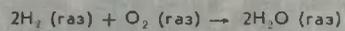
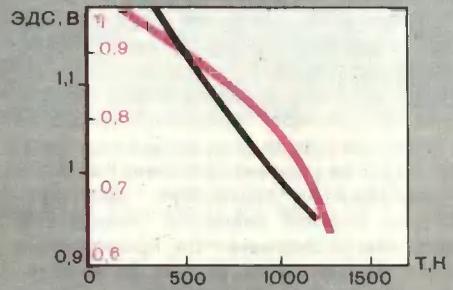
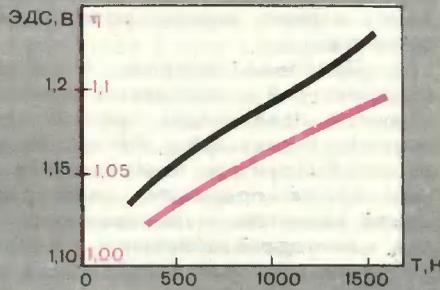
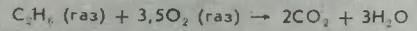
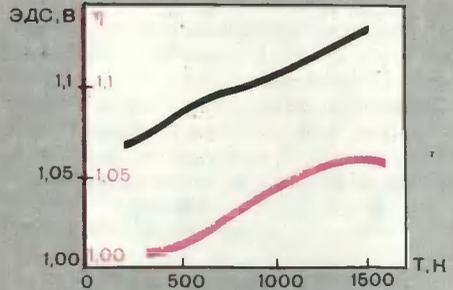
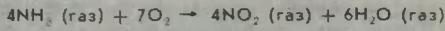
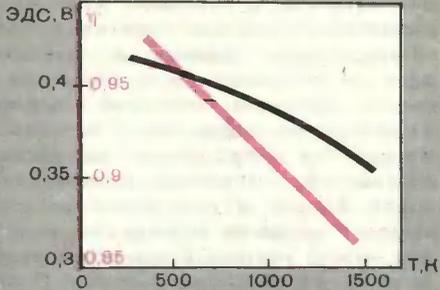
где  $Z$  — число электронов на реагирующую молекулу (ион),  $\Phi$  — число Фарадея ( $\Phi = 96\,500$  кулон/г-экв). Причем, при выделении тепла  $E_0 > \frac{Q_p}{Z\Phi}$ , при поглощении тепла  $E_0 < \frac{Q_p}{Z\Phi}$ , в адиабатическом режиме  $E_0 = \frac{Q_p}{Z\Phi}$ .

Приведенное уравнение характеризует равновесное состояние, при котором напряжение  $U = E_0$ , а внешний ток  $I = 0$ . Основной интерес для теории и практики представляет, однако, неравновесное состояние ( $I \neq 0$ ). Оно возникает в источниках энергии при прохождении тока во внешней цепи (совершение полезной работы) и характеризуется зависимостью напряжения  $U$ , равного разности потенциалов на концах цепи, от величины протекающего тока  $I$ . Эту зависимость отражает вольтамперная кривая  $U = f(I)$ .

Для анализа неравновесного состоя-

<sup>2</sup> В некоторых схемах электрохимических генераторов для отвода продуктов реакции используется небольшой градиент температур, однако влияние его на процесс генерации электрической энергии несущественно. Такие схемы называются квазиизотермическими.

<sup>3</sup> Подробнее об этом см.: Лидоренко Н. С., Новиков И. И. — Известия АН СССР, сер. Энергетика и транспорт, 1965, № 6, с. 93.



ния возможны два подхода. Первый из них — феноменологический — основан на том, что потери, возникающие из-за неравновесности ( $U < E_0$ ), можно разбить на отдельные составляющие, называемые поляризационными потерями. Они, по сути дела, характеризуют отклонения реального источника энергии от идеального, и борьба с ними и есть борьба за увеличение КПД вплоть до предельного значения.

Возможность феноменологического описания основывается на том, что времена протекания отдельных необратимых процессов различны. Выделив наиболее «критическую» по времени стадию, можно состояние системы в данном диапазоне токов, температур, давлений характеризовать через один или несколько существенных процессов. Так, например, процесс электронного обмена на границе электрод—электролит характеризуется временами, на несколько порядков меньшими, чем процесс подвода реагентов в зону реакции.

Поскольку не существует законченной теории, особое значение приобретают результаты экспериментов, проводимых в условиях, близких к реальным. За последние годы накоплен достаточно богатый экспериментальный материал, позволяющий в ряде случаев рассматривать отдельные компоненты глубинных механизмов генерации и находить пути оптимизации процессов.

Существует и другой, более фундаментальный, подход. Он требует рассматривать процессы как на атомарном, так и молекулярном уровне. Для проведения такого анализа используются современные методы квантовой физики, теории растворов, твердых электролитов и т. д. Как правило, результирующие характеристики (типа вольтамперной кривой) даже при углубленном подходе не могут быть получены, однако понимание отдельных стадий суммарного процесса генерации электрической энергии оказывается чрезвычайно полезным.

## ПРОБЛЕМА КАТАЛИЗА

Фундаментальное место в микроописании процессов в топливных элементах занимает катализ — одно из самых удивительных явлений природы.

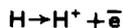
С помощью катализа и осуществляется «распад» молекул на ионы и электроны. Причем этот процесс происходит при низких температурах (40—100° С) и достаточно долго: пока не произойдет «отравления» катализаторов.

Главной практической задачей теории катализа, в конечном итоге, является разработка научных методов подбора катализаторов, влияющих на скорость реакции. Несмотря на то что в последнее время получена огромная информация о различных параметрах каталитических материалов и процессов, механизм каталитической активности окончательно не понят. Вопрос о том, какие же свойства веществ являются определяющими и что еще нужно учитывать при подборе катализаторов, до конца не выяснен. Последние исследования показывают, что электромагнитные свойства материалов, до сих пор учитываемые недостаточно, по-видимому, играют важную роль в кинетике процесса.

Проблема катализа тесно связана со структурой и свойствами реальной физической поверхности границы раздела контактирующих сред. Исследования электронной структуры поверхности в настоящее время проводятся для широкого класса объектов: от переходных металлов, полупроводниковых соединений до переходных металлов, сплавов и окислов. Для ряда простых металлов уже рассчитан электронный энергетический спектр и определены параметры поверхности. Однако многие проблемы еще не решены и полученные результаты зачастую противоречивы.

Согласно разрабатываемой модели и экспериментальным данным, можно полагать, что различия в каталитической активности металлов, сплавов и диэлектриков тесно связаны, в частности, с различиями в их электронной структуре и обусловлены ими.

На примере простейшей реакции ионизации атома водорода



мы нашли параметры электронной структуры, определяющие «ряд каталитической активности» металлов по отношению к данной реакции, а также по отношению к реакциям гидрирования. Для простоты мы не учитывали изменения, вносимые в электронную структуру металла его поверхностью и дефектами решетки, а также влияние электролита. Интерес к реакции ионизации водорода вызван тем, что в реакциях гидрирования часто именно ионизация является лимитирующей стадией. Исходя из определенной модели электронной структуры металлов, был найден критерий, определяющий интенсивность процесса катализа. С его

помощью все металлы можно разделить на две группы.

К первой группе относятся известные катализаторы реакций гидрирования: Pt, Pd, Ir, Ph, Ni. Качественно их принадлежность к этой группе определяется тем, что они имеют очень высокую плотность электронных состояний на уровне Ферми по сравнению с другими металлами. Ко второй группе относятся Cu, Ag, Pb и ряд других металлов, они не обладают каталитическими свойствами<sup>4</sup>.

На кинетику электродных процессов влияют также процессы сорбции (газовые компоненты адсорбируются на поверхности), поведение тонких пленок электролита на поверхности электрода, диффузия топлива и окислителя в зону реакции и т. д. Как правило, для увеличения генерируемой мощности поверхность электрода «развивают» (применяются, например, пористые структуры). Причем, современные технологические приемы позволяют получать коэффициент развития поверхности (отношение истинной поверхности к «видимой») до 10 000 и удельные поверхности до 100 м<sup>2</sup> на грамм вещества.

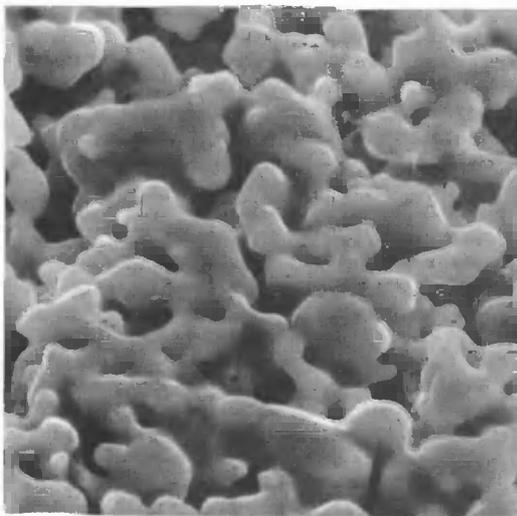
Описание таких структур, их стабилизация и обеспечение длительного ресурса — чрезвычайно сложная научная и техническая задача.

### ОСНОВНЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА

Чтобы электрохимический генератор нормально функционировал, необходимо обеспечить непрерывный подвод реагентов, отвод продуктов реакции и электронов, поддерживать заданные параметры (температура, давление, электрическое напряжение) и регулировать их. Поэтому в самом общем виде в энергетической системе генератора можно выделить, по крайней мере, три комплекса: батареи электрохимического генератора, системы вспомогательных агрегатов и хранения реагентов, системы автоматического регулирования.

Батарея генератора состоит из отдельных топливных элементов, в которых, собственно, и происходит процесс генерации электрической энергии.

Топливный элемент, в свою очередь, представляет собой комбинацию электрод-



Фотография структуры электрода, полученная с помощью растрового микроскопа (увел. в 10 000 раз). Видна сложная пористая структура, обеспечивающая удельную поверхность до 100 м<sup>2</sup> на 1 г вещества.

дов, определенным образом соединенных между собой, дистанционирующих прокладок, межэлектродных заполнителей (жидкие или твердые электролиты) и узлов, обеспечивающих заданные тепловые и электрические поля элемента.

Система вспомогательных агрегатов определена видом генератора и может включать насосы, конденсаторы, гидравлические компенсаторы, радиаторы и другие функциональные звенья. Система обеспечивает подвод реагентов и их очистку, отвод продуктов реакции, термостатирование.

Система автоматического регулирования обеспечивает поддержание заданных параметров генератора (электрических, тепловых, гидравлических), а также надежную работу как генератора в целом, так и отдельных узлов. В нее входят элементы пневмо-, гидроавтоматики, блоки логики, измерительные устройства, телеметрическая аппаратура и т. д.

Как видно из этого достаточно беглого описания, электрохимический генератор представляет достаточно сложную установку. Для его создания необходимо было решить множество проблем разного характера. Перечислим лишь основные.

**Теоретические и экспериментальные проблемы.** Как уже отмечалось, отсутствует теория, описывающая кинетику электронного переноса. Разработанные

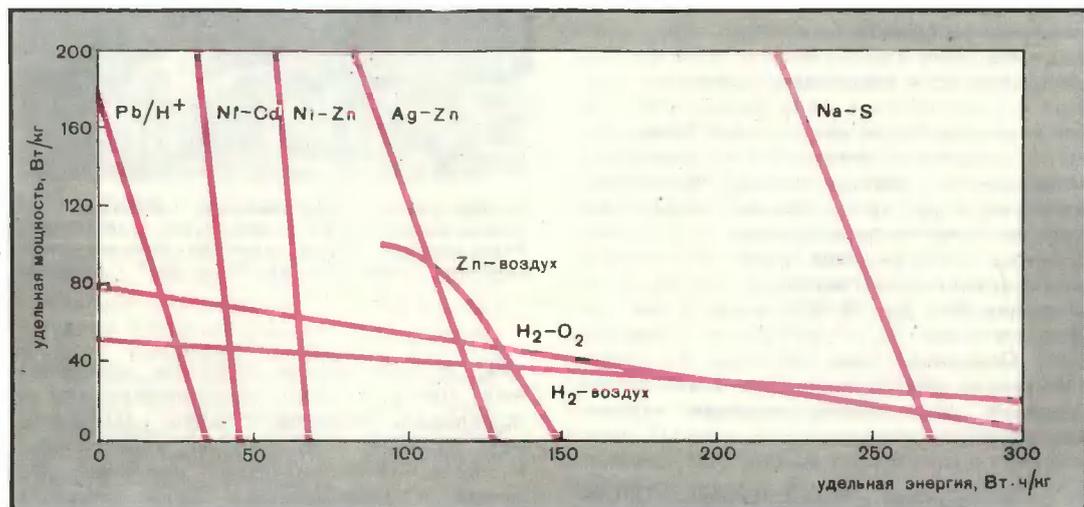
<sup>4</sup>Подробнее об этом см.: Лидоренко Н. С., Измествьев А. А., Медведев И. Г., Мучник Г. Ф. — Доклады АН СССР, 1975, т. 223, № 3, с. 635.

теории катализа не пригодны для количественного описания и могут быть использованы лишь в частных случаях. Нет теории электролитов, в первую очередь, жидких. Пористые структуры электродов исследованы недостаточно. Отсутствуют теоретические и экспериментальные данные по диффузии реагентов в зону реакции.

Проведение экспериментов связано с обработкой большого числа зачастую противоречивых опытов. Необходимо разрабатывать новые средства диагностики (оптическая и электронная спектроскопия,

чрезвычайно скудны. Первостепенной, особенно для кислых сред, является проблема коррозии.

**Технические проблемы.** Электрохимический генератор — конструкция из многих элементов. Поэтому возникают задачи типа гидравлического соединения большого числа элементов, разделения потоков газа по отдельным элементам, электрической коммутации элементов и моделей и т. п. Сложные проблемы нужно решить, чтобы создать оптимальные системы контроля, автоматически регулировать



Сравнение удельных характеристик электрохимических генераторов (показаны цветом) с существующими (свинцовые, никель-кадмиевые, никель-цинковые, серебряно-цинковые, цинк-воздушные) и перспективными (натрий-серные) аккумуляторами. Преимущество генераторов по удельной энергии в сравнении с аккумуляторами (кроме Na — S) очевидно. Удельная мощность характеризует компактность источника энергии, удельная энергия — его энергоресурс. Натрий-серный аккумулятор, в случае его создания, будет обладать обоими достоинствами.

эллипсоидом и т. д.) и машинной обработкой.

**Технологические проблемы.** Чтобы создать электрохимический генератор, нужно совершенствовать технологию сварки, прессования, прокатки и т. д. Комплексное решение этих проблем — задача большой сложности, ибо наряду с необходимостью применять материалы, стойкие в агрессивных средах, легкие и прочные, неизбежно возникают и требования высокой надежности. Наиболее важна технология электродов, сведения о которой

отвод продуктов реакции в специальных условиях (например, в невесомости), конвертировать топливо с высоким КПД, использовать в качестве окислителя воздух, а не чистый кислород и т. д.

**Экономические проблемы.** Электрохимический генератор — пока еще дорогостоящий источник энергии. Поэтому необходимо искать пути его удешевления. Выбор перспективных и дешевых материалов, механизация производства, унификация и т. д. — основные задачи, от решения которых зависят перспективы использования электрохимических генераторов.

#### ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ

Уже в 60—70-х годах в США для космических кораблей «Джемини» и позднее «Аполлон» использовались электрохимические генераторы, в СССР был создан электромобиль с топливными элементами, работающими на водороде и воздухе.

С тех пор исследования по электрохимическим генераторам существенно рас-

ширились. В США и СССР разработаны варианты электрохимических генераторов на водороде и кислороде с щелочным и кислотным электролитом для ряда программ, в том числе для транспортных систем и др. Разрабатываются топливные элементы на других активных компонентах. Исследования по созданию электрохимических генераторов развиваются во Франции, ФРГ, Японии, Англии и странах СЭВ.

Выявлен ряд существенных преимуществ генераторов в сравнении с другими источниками энергии. Основные из них следующие.

Потребление топлива в нерабочем состоянии равно нулю.

С уменьшением электрической нагрузки КПД не падает, как, например, у двигателя внутреннего сгорания, а возрастает.

Могут быть переработаны многие виды топлива.

Стоимость генератора и топлива (в частности, водорода) в будущем будет снижаться.

Работа элементов почти не зависит от внешнего давления и температуры.

Простота элементов обуславливает легкость их хранения и эксплуатации.

Элементы можно разместить в конструкциях различной формы.

Отработанные продукты безвредны и не вызывают загрязнения.

Исходя из перечисленных выше преимуществ, предсказывается большое число областей внедрения электрохимических генераторов, особенно с учетом возможностей водородной энергетики.

В последние годы проблема создания генераторов вступила в новую фазу. Масштабность и сложность задачи привели к тому, что исследования сосредоточились лишь в нескольких наиболее крупных фирмах и институтах мира (США, СССР, ФРГ), где продолжают интенсивно развивать и усовершенствовать новые модели. Затраты на исследования в этой области резко возросли.

Сейчас на первый план выдвигаются вопросы экономики и увеличения срока службы генератора. Технологические и инженерные проблемы приобретают большую значимость, хотя многие вопросы теории все еще остаются нерешенными.

Прогнозируются следующие возможные области использования генераторов.

Нестационарная энергетика, в том числе крупная, мощностью до десятков мегаватт с использованием как водорода,

так и конвертируемых видов топлива. Эффективность использования будет определяться снижением стоимости генератора, созданием оптимизированных конвертеров топлива и схем рекуперации тепла, увеличением ресурса работы оборудования.

Транспортная энергетика — привод для автомобилей и автобусов (мощность 5—100 кВт). Проблема использования генераторов связывается с увеличением удельной мощности установок, их более компактным исполнением, использованием реагентов с высокими удельными показателями.

Переносные устройства — радио, телевидение, электрические приборы (потребляемая мощность до 1 кВт). Масштаб их применения зависит от возможности создания компактных установок и использования воздуха в качестве окислителя. Кроме того, здесь чрезвычайно важно, чтобы системы хранения топлива были достаточно легкими и дешевыми.

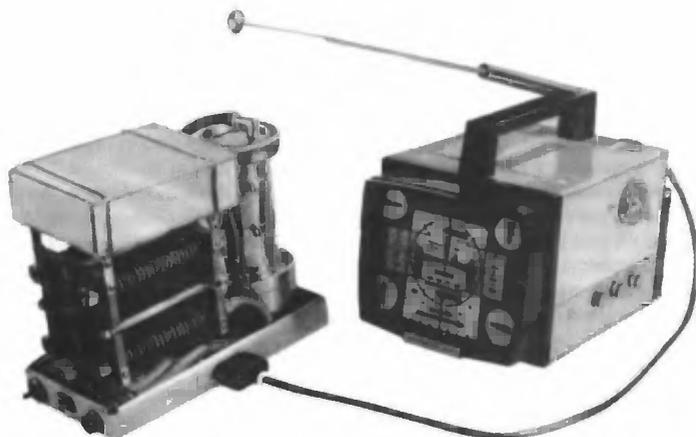
Энергетика морских кораблей и аппаратов погружения. Это могут быть корабли для дальних морских перевозок (мощность до нескольких тысяч киловатт) и внутренних линий (паромы, танкеры, баржи — мощность 1,5—150 кВт). Аппараты погружения, в том числе батискафы и глубоководные мелкие лодки, работающие от электропривода, нуждаются в высокоэффективных и надежных энергоустановках.

## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ И ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

В качестве примера приведем описание двух энергоустановок с электрохимическими генераторами для привода электромобиля (СССР) и для проектируемой электростанции (США).

Наряду с аккумуляторами электрической энергии в качестве основного источника тяги для электромобиля успешно может использоваться электрохимический генератор. Перспективность любого нового источника оценивается по его удельной энергии и удельной мощности. Установлено, что источник энергии для городского электромобиля должен иметь запас энергии не менее 100 Вт·ч/кг и развивать мощность не менее 150—200 Вт/кг. Запас энергии для установки с генератором определяется запасом топлива, для установки с аккумуляторами — их массой.

Для разработанных сегодня электрохимических генераторов характерны высокие удельные энергии (100—



Электрохимический генератор для питания телевизора (СССР). Топливо — гидрид, окислитель — воздух. В верхнем бачке генератора помещена вода. Соединяясь с гидридом, она образует водород, поступающий в батарею топливных элементов. Цилиндр справа — хранилище гидрида.

150 Вт · ч/кг) при малой удельной мощности (30—40 Вт/кг), для разработанных аккумуляторов — малые удельные энергии (25—30 Вт · ч/кг) при достаточно высокой удельной мощности (150—200 Вт/кг). Поэтому целесообразно использовать генераторы в комбинации с аккумуляторами для снятия пиковых нагрузок при разгоне электромобиля.

Имеются планы принципиальной модернизации электрохимических генераторов. В них предполагается значительно упростить конструкцию и схемы управления. В последнее время, в частности в связи с общим интересом к водороду как самому «чистому» топливу, ведутся интенсивные исследования по аккумулирующим водород интерметаллидным соединениям. Уже сейчас имеются интерметаллиды (например  $\text{FeTiH}_{1,6}$ ), способные связывать в одном литре собственного объема 150 л водорода<sup>5</sup>. Низкое давление диссоциации (2026—6078 гПа, или 2—6 атм) во всем диапазоне рабочих температур не накладывает жестких условий на форму сосуда, что позволяет придавать ему любую конфигурацию и размещать в любом месте электромобиля.

Расчеты показывают, что 1 т · км перевозок электромобилем с водородно-

воздушным электрохимическим генератором обходится лишь на 40% дороже перевозок с автомобилем, оборудованным бензиновым двигателем.

Необходимо отметить также, что если раньше применение водорода в транспорте встречалось с недоверием, связанным с представлением о его опасности, то за последнее время положение значительно изменилось. Это произошло, прежде всего, благодаря широким экспериментам самих транспортников по переводу двигателей внутреннего сгорания на водород и газы, содержащие водород, с целью уменьшения токсичности выхлопных газов.

В массовом производстве стоимость 1 кВт установленной мощности, по-видимому, не будет превышать 150—200 руб. Затраты на обслуживание (регламентные работы и ремонт) ожидаются невысокими, благодаря малому числу механически нагруженных агрегатов.

Системы водород — воздух уже сейчас имеют ресурс, позволяющий обеспечить 100 тыс. км пробега. В результате ведущихся исследований найдены пути повышения ресурса в 3—4 раза. Периодичность замены топливных баков определяется их конструкцией и объемом.

Процессы терморегулирования, удаления воды, регулирования расхода газов, поддержания заданных давлений в газовых и электролитных полостях генератора полностью автоматизированы.

Современный генератор имеет следующие характеристики:  
 мощность номинальная — 2,5 кВт;  
 мощность максимальная — 4,0 кВт;  
 удельная энергия (с учетом всех систем, в том числе баллонов с водородом) — 120 Вт · ч/кг;

Подробнее об этом см.: Кост М. Е., Понятовский Е. Г. Гидриды в водородной энергетике — Природа, 1980, № 12.

потребление энергии на собственные нужды — 100 Вт;  
расход водорода — 50 г/кВт · ч (вместо 200 г/кВт · ч для бензина);  
рабочая температура — 40—60° С.

Образующаяся в результате электрохимической реакции вода выносится с положительного электрода потоком воздуха, подаваемого на реакцию с двукратным избытком.

Закончена серия испытаний генератора в условиях, близких к дорожным: ежедневные запуски и остановка, циклические нагрузки, работа в буфере с аккумулятором, эксплуатация в реальных погодных условиях, включая отрицательные температуры.

С перерывами от нескольких дней до трех месяцев в течение полутора лет элементы находились в режиме хранения в составе генератора и около года (до сборки) в законсервированном виде. При этих условиях заметной потери активности элементов не отмечено.

В США работы по созданию электрохимических генераторов для электростанций ведутся с 1967 г. В начале 70-х годов были испытаны в полевых условиях 63 электростанции мощностью 12,5 кВт в различных пунктах США, Канады и Японии.

Модуль состоит из реактора паровой конверсии природного газа, водородно-воздушного электрохимического генератора с фосфорнокислым электролитом и преобразователя постоянного тока, вырабатываемого генератором, в переменный. Рабочая температура генератора 120—130° С, давление газа близко к атмосферному.

В 1979—1981 гг. предусматриваются испытания пятидесяти электростанций мощностью 40 кВт, а в начале 80-х годов должна быть завершена разработка прототипа энергоустановок мощностью 26 МВт. Ожидаемый КПД установки невелик — 38—41% (без использования тепла, но с учетом КПД конверсии). Однако предполагается его увеличение за счет более эффективной рекуперации тепла. Стоимость энергоустановки пока еще велика, поскольку используются дорогостоящие катализаторы, но ведутся интенсивные работы по их замене на более дешевые.

Главная задача, стоящая перед создателями электростанций с электрохимическими генераторами, — продемонстрировать экологически чистый источник энергии и показать возможность более эффективного, в сравнении с существую-

щими тепловыми электростанциями и дизельными установками, использования энергии топлив.

Итак, подведем некоторые итоги. Сегодняшний период можно назвать лишь начальным этапом огромной индустрии безмашинных способов получения электричества. В перспективе ожидается дальнейшее расширение исследований в этой области.

Электрохимический генератор — экологически чистая и малометаллоемкая электрогенерирующая модель, которая займет одну из основных позиций в энергетике будущего.

Очевидная аналогия схем генерирования электричества в электрохимическом генераторе и биологических объектах делает эти модели привлекательными для углубленных теоретических исследований и поисков более убедительных, обоснованных на физическом уровне аналогий. Перспективы этих поисков столь безграничны, что их трудно переоценить.

Расшифровка физической причины высокого коэффициента преобразования энергии при отсутствии очевидного температурного градиента — задача, представляющая огромный интерес. Это важно не только для специалистов, занимающихся использованием низкотемпературных источников энергии, но и для физиков, исследующих эффективные системы преобразования информации.

#### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Лидоренко Н. С., Мучник Г. Ф. ПЕРСПЕКТИВЫ И НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ИЗ ХИМИЧЕСКИХ ТОПЛИВ. — Известия АН СССР, сер. Энергетика и транспорт, 1973, № 2.

Дамаскин Б. Б., Петрий О. А. ОСНОВЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОХИМИИ. М.: Высшая школа, 1978.

Лидоренко Н. С., Мучник Г. Ф. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭНЕРГЕТИКА. — Природа, 1974, № 5.

Лидоренко Н. С., Дмитренко В. Е., Мучник Г. Ф., Каричев З. Р., Грудянов И. И. СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ. — Всемирный электротехнический конгресс 21—25 июня 1977 г. Москва. Секция 5Б, доклад 21. М.: Информэлектро, 1977.

## Интерферон

Г. Д. Кобринский



Григорий Дмитриевич Кобринский, доктор медицинских наук, старший научный сотрудник Межведомственного центра по биологическим испытаниям химических соединений. Иммунолог, биохимик. Занимается изучением ферментов бактерий и вирусов.

В середине 30-х годов нашего столетия американские исследователи Г. Финдлей и Ф. Маккелум, проводя опыты на обезьянах с вирусами желтой лихорадки, обратили внимание, что введение ослабленного вируса за несколько дней до заражения смертельной дозой вируса защищает обезьян не только от гибели, но и от заболевания. Открытие привлекло к себе внимание исследователей. Попытки его объяснения вызвали споры и породили ряд гипотез, и в том числе гипотезу о конкуренции между вирусами за обладание «территорией» для проявления своего патогенного действия. Сам феномен получил название интерференции.

В 1957 г. английский исследователь А. Айзекс и его помощник вирусолог из Швейцарии Ж. Линденманн<sup>1</sup> сделали в этом направлении следующий важный шаг. Свои опыты они проводили с вирусами гриппа, выращенными в клетках оболочки куриного зародыша. В питательную среду, на которой культивировались кусочки оболочки, добавляли сначала убитый, а затем живой вирус гриппа. Убитый вирус, естественно, в клетках не размножался, но после его добавления клетки становились невосприимчивы-

ми к живому вирусу. Оказалось также, что среда, в которой росли клетки, пораженные вирусом, обладает противовирусными свойствами, ее добавление к культуре нормальных клеток делает их нечувствительными к патогенному вирусу. Не вызывало сомнения, что защитное действие оказывает какое-то вещество, находящееся в этой среде. Оно было названо интерфероном<sup>2</sup>. В своих дальнейших исследованиях Айзекс обнаружил, что интерферон подавляет размножение в клетках не только вируса гриппа, но и многих других вирусов. Так впервые был открыт новый фактор противовирусного иммунитета.

Открытие это сразу привлекло к себе внимание ученых. Причины проявленного интереса заслуживают особого объяснения.

Известно, что успех борьбы с инфекционными заболеваниями, вызываемыми болезнетворными микроорганизмами, во многом зависит от своевременного применения вакцин и медикаментозных средств. Их широкое использование привело к значительному сокращению наиболее опасных бактериальных и протозойных заболеваний. Что касается болезней, вызываемых

<sup>1</sup> Isaacs A., Lindenmann J. Proc. Roy. Soc. B., 1957, v. 147, p. 258.

<sup>2</sup> Термин «интерферон» (от англ. interfere — препятствовать, мешать) можно перевести как «помеха» размножению вируса.

вирусами, то они не поддаются действию лекарств и попытки их лечения до сих пор остаются безрезультатными. Борьба с вирусными инфекциями ведется в основном методами вакцинопрофилактики. Вот почему открытие интерферона вселило надежды на то, что найдено наконец средство их лечения.

С тех пор пошло более 20 лет. Срок немалый, если учесть темпы развития современной науки. Что же можно сказать об интерфероне сегодня?

### ИНДУКТОРЫ ИНТЕРФЕРОНА

За прошедшие годы интерферон весьма интенсивно изучали, что позволило узнать много нового об особенностях его получения, очистки, концентрации, физико-химических свойствах, механизма действия и пр.

Оказалось, что синтез интерферона в клетке обусловлен генетически и присущ клеткам всех позвоночных животных, начиная от рыб и кончая человеком. Интерферон образуется не только под воздействием вирусов, но также и других агентов, которые получили название индукторов интерферона или интерферогенов. Интерферогенами могут быть продукты жизнедеятельности различных бактерий (например, липополисахариды и пр.), двунитчатые РНК нормальных клеток и вирусов, а также разные вещества неживой природы: природные полифенолы, синтетические низкомолекулярные препараты: циклогексимид, канамицин, тиролол, пропандиамин, а также поликарбонатилат (пиран, полиакриловая и полиметакриловая кислоты).

Было показано, что интерферон, индуцируемый одними индукторами, не всегда схож по своим свойствам с интерфероном, индуцируемым другими. В настоящее время их делят на две большие группы: интерферон I типа, или «вирусный», и интерферон II типа, или «иммунный». Первый вырабатывается при действии на клетки вирусов, а также других индукторов. Второй — он был открыт всего несколько лет назад — можно получить действием на лимфоциты иммунизированного животного антигеном, использованным для иммунизации, например бациллами туберкулеза, бактериями столбняка, дифтерии. Иммунный интерферон можно также получить, действуя на клетки токсоинами, например стафилококковым энтеротоксином, который вызывает кишечные отравления. Другой путь получения интерферона II типа — действие на лимфоциты митогенами — веществами, способствующими клеточному делению.

Все изученные интерфероны представляют собой гликопротеиды с молекулярным весом, колеблющимся от 12 тыс. до 160 тыс. дальтон в зависимости от вида хозяина и типа клеток, использованных для их синтеза. Молекулы вирусного интерферона способны сохранять стабильность в широком диапазоне рН. Они могут храниться в замороженном виде при  $-20^{\circ}\text{C}$  в течение длительного времени без существенной потери противовирусного действия. Но при  $+56^{\circ}\text{C}$  большинство интерферонов быстро теряют свою активность. Значительно менее устойчивым к действию рН и температуры оказался иммунный интерферон. Химическая структура молекул интерферона пока неизвестна.

Интерферон, полученный из клеток определенного вида животных, не вызывает образование антител у животных этого вида. Антитела образуются только при введении интерферона, полученного от одного вида животных (например, крыс) другому виду животных (например, кроликам). Видоспецифичность интерферонов проявляется также в отношении их противовирусных свойств: они защищают от действия вирусов только те виды животных (или их клетки в культурах тканей), из которых они были получены.

### СИНТЕЗ ИНТЕРФЕРОНА В КЛЕТКЕ

В нормальной клетке интерферон не вырабатывается, скорее всего, потому, что в нем нет нужды. Он образуется лишь при действии на клетки интерферогенов. При этом интерферон продуцируется лишь ограниченное время. Изучение кинетики его синтеза показало, что максимальная выработка интерферона происходит в пределах нескольких часов после начала индуцирования.

Синтез белков клетки, как известно, закодирован в клеточном геноме, в ее хромосомах. Образование интерферона также генетически обусловлено, т. е. в ДНК клеток содержится специальная информация его синтеза. Она локализована в генах 2-й и 5-й хромосом.

Наиболее полно изучен процесс воздействия на клетку вирусов. Почти все известные вирусы человека и животных при их размножении в организме или в клеточных культурах вызывают образование интерферона. Таким образом, можно считать, что интерферон — естественный побочный продукт вирусной инфекции. Его обнаруживают непосредственно в месте внедрения вируса. Так, при острых респира-

торных вирусных инфекциях (гриппе, парагриппе и пр.) интерферон прежде всего находят в слюве носоглотки, а также в крови, желчи, молоке, спинномозговой жидкости, моче и различных внутренних органах, в клетках, в которых размножаются вирусы. Доказана возможность перехода интерферона от матери к плоду через плаценту. При исследовании образования вирусного интерферона удалось показать, что двунитчатые РНК (т. е. состоящие из двух связанных между собой одинаковых параллельных молекул РНК) служат мощными индукторами интерферона. Однонитчатые молекулы РНК, состоящие из одной молекулы этой кислоты, такими свойствами не обладают.

Все вирусы размножаются внутри клеток. Носителями их генетической информации служат двунитчатые РНК или ДНК, которые при контакте вирусов с клетками проникают внутрь клеток. Хорошо известно, что при репликации ряда «РНКовых» вирусов в клетке появляются вирусные РНК. Предполагают, что появление таких РНК включает механизм синтеза интерферона. В нормальных клетках двунитчатые РНК отсутствуют, а имеются только однонитчатые молекулы этой кислоты.

Молекулы вирусной РНК инфекционны. Если дать им возможность проникнуть в клетку, они способны вызвать внутри нее весь цикл размножения вируса. Облучение ультрафиолетовыми лучами уничтожает инфекционную способность этих молекул. Но даже потерявшая в результате облучения способность к инфицированию, но сохранившая свою пространственную конфигурацию, двунитчатая РНК вируса способна вызвать синтез интерферона. Это указывает на то, что для индукции интерферона необходима сама структура двунитчатой молекулы.

При изучении размножения в цитоплазме клеток ДНК-содержащего вируса вакцины были обнаружены двунитчатые вирусные РНК. Следовательно, концепцию индукции интерферона двунитчатой РНК, вероятно, можно распространить на все вирусы. Вопрос о том, каким образом такие РНК индуцируют синтез интерферона, остается открытым.

При вирусных заболеваниях человека и животных интерферон обнаруживается с первых дней болезни. И если учесть его способность подавлять размножение вирусов, то без большого преувеличения можно сказать, что мы начинаем выздоравливать, едва успев заболеть. Установлена пря-

мая связь между заболеваемостью человека гриппом и количеством интерферона в организме. Установлены также возрастные различия в образовании интерферона. Так, у детей ясельного возраста при острых респираторных вирусных заболеваниях синтезируется значительно меньше интерферона, чем у взрослых. Синтез интерферона снижен и у престарелых людей, а также при нарушении обменных процессов в организме, что обычно резко выражено при болезнях эндокринной системы и при других внутренних заболеваниях (ревматизме, бронхиальной астме, пневмониях, туберкулезе).

Существенную роль в образовании интерферона при вирусных инфекциях играют особенности возбудителя заболевания. Так, вирусы гриппа, парагриппа, реовирусы, арбовирусы стимулируют выработку значительных количеств интерферона, а вирусы герпеса и аденовирусы — слабые индукторы интерферона.

#### МЕХАНИЗМ ЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ ИНТЕРФЕРОНА

Проведенные многочисленные исследования показали, что состояние резистентности клеток к вирусу после добавления интерферона устанавливается не сразу, а спустя 1,5—4 часа. Было также установлено, что для проявления антивирусной активности интерферон должен обязательно войти в контакт с клеточной поверхностью и прикрепиться к ней. Прикрепление происходит к определенным молекулам поверхности клеток, носящим название рецепторов. Рецепторы позволяют клетке «распознать» интерферон и передать сигнал о его присутствии другим структурам клетки, которые должны на этот сигнал прореагировать. Генетические исследования показали, что этот процесс контролируется 21-й хромосомой, которая является носителем гена, кодирующего синтез рецепторов интерферона. Опыты свидетельствуют, что в процессе контакта с клетками расходуются неопределенно малые количества интерферона, т. е. фактически не расходуются. Учитывая это обстоятельство, можно предположить, что интерферон не проникает внутрь клетки, а активизирует ее к формированию противовирусного состояния непрямым путем, действуя на рецепторы клеточной поверхности. Следует отметить еще одну особенность: прикрепление молекул интерферона к клеточной поверхности совсем не обязательно приводит к проявлению его биологического действия. Оно проявляется

лишь в том случае, если клетки, связанные с интерфероном, чувствительны к его действию.

Представления о механизме синтеза интерферона, сформулированные на основании экспериментальных данных, сводятся к следующему: после контакта интерферона с клеткой начинается, или интенсифицируется, синтез по крайней мере трех клеточных ферментов — протеиназы, фермента, катализирующего синтез трифосфата олигоаденилата, и эндонуклеазы. До момента инфицирования клетки вирусами эти ферменты пребывают в неактивном состоянии. Они активируются после внедрения вируса в клетку, а точнее после образования в клетке двунитчатой вирусной РНК. Активация ферментов и приводит к проявлению антивирусного действия. Интересно, что даже одна минута контакта интерферона и клетки достаточна для передачи последней противовирусной резистентности. Максимум резистентности достигается примерно между 6 и 17 часами и затем медленно снижается в течение нескольких суток. Степень антивирусного влияния интерферона на клетку в общем пропорциональна его концентрации.

## ДРУГИЕ СВОЙСТВА ИНТЕРФЕРОНА

В последние годы было обнаружено, что, помимо противовирусного действия, интерферон обладает и другими свойствами. Некоторые из них по своему значению не уступают его антивирусным свойствам. Было показано, например, что интерферон играет очень важную роль в регуляции ряда фундаментальных клеточных процессов. Особый интерес представляет его антиклеточное и противоопухолевое действие, а также участие в иммунологических реакциях.

Оказалось, что добавление интерферона к культуре клеток человека или животных тормозит их рост. Это касается как нормальных, так и злокачественных клеток. Такое же действие в экспериментах на животных оказывали индукторы интерферона.

В основе противоопухолевого действия интерферона и его индукторов лежит их способность подавлять рост и деление клеток, предупреждать переход нормальных клеток в злокачественные и стимулировать противоопухолевый иммунитет. Не последнюю роль здесь играет противовирусное действие интерферона при индуцировании опухолей онкогенными вирусами. Интерферон оказался способным заметно влиять на ряд реакций иммунной системы.

Так, его введение животным тормозило или усиливало (в зависимости от доз введенного препарата) выработку у них специфических антител, усиливало способность лимфоцитов — главных по значению клеток иммунной системы — оказывать токсическое действие на чужеродные клетки. Другое недавно сделанное открытие касается макрофагов, клеток — «мусорщиков», которые способны удалять из организма бактерии, вирусы, опухолевые клетки и пр. благодаря своей способности фагоцитировать («пожирать») чужеродные частицы. Исследования, проведенные в разных лабораториях, показали, что интерферон усиливает фагоцитарную способность макрофагов, если вводится в малых дозах. В больших дозах он ее подавляет.

Все эти данные позволяют прийти к выводу, что интерферон может выполнять роль регулятора иммунной системы.

Интерферон и его индукторы обладают активным радиозащитным действием. Введение индукторов интерферона снижает повреждающее действие рентгеновских лучей, гамма-облучения, протонов высоких энергий.

## ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРФЕРОНА ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛЕЧЕНИЯ ВИРУСНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Первые попытки использовать интерферон для предупреждения и лечения вирусных заболеваний были сделаны на животных и не увенчались серьезным успехом. Препарат у многих случаях оказался просто неэффективен или недостаточно эффективен. Положительное действие, если оно и имело место, чаще всего наблюдалось при использовании очень больших его доз. Что же касается применения интерферона на людях, то еще в 1962 г. удалось показать, что он способен защищать человека от вируса вакцины, близкого к вирусу натуральной оспы. Попыты были проведены на добровольцах.

В медицинских целях впервые интерферон стали широко применять в нашей стране. В 1968 г. на Международном симпозиуме по интерферону, посвященном памяти А. Айзекса, В. Д. Соловьев впервые доложил о получении лейкоцитарного интерферона и использовании его для профилактики гриппа. Большой группе добровольцев (284 чел.) в возрасте от 18 до 40 лет перед заражением вирусом гриппа вводили в нос интерферон. Препарат оказывал защитное действие, если попадал в организм не позднее 24 часов до заражения. Аналогичные

результаты были получены при его испытании во время эпидемии гриппа на 300 человек. Предварительное введение препарата снижало заболеваемость гриппом в 3—4 раза по сравнению с контрольной группой, не получавшей интерферон. Наибольший эффект был получен на детях 7—9-летнего возраста, среди которых заболело гриппом только 7,7% против 42,5% в контрольной группе. Эти данные были подтверждены в 1972 г. за рубежом.

За период 1966—1977 гг. человеческий лейкоцитарный интерферон был испытан для профилактики и лечения гриппа и других вирусных болезней. При его введении в нос получали несомненный профилактический эффект в эпидемических ситуациях, вызванных гриппом и другими респираторными вирусами. Клинические наблюдения показали, что интерферон был эффективен при лечении заболеваний различной локализации, вызванных вирусом герпеса, при вирусных ангинах, тонзиллитах и при псориазе. Его местное применение способствовало заживлению ран, ожогов и трофических язв.

Однако положительное действие интерферона было все же невелико и требовало применения весьма больших доз этого препарата. Постепенно исследователи выяснили причину его недостаточной эффективности. Она оказалась в плохой очистке и относительно невысокой концентрации интерферона в используемых препаратах. Оба эти обстоятельства связаны между собой еще в одном отношении. Из опыта применения лекарств известно, что чем быстрее лекарство проникает внутрь организма, тем выше эффект его действия. Именно поэтому, если хотя бы достигнуть быстрого действия медикаментозных средств, то их вводят, если это возможно, прямо в кровь. Интерферон, ввиду содержащихся в нем многочисленных примесей, опасно было вводить не только в кровь, но и внутримышечно и даже подкожно. По этой причине его вводили преимущественно в дыхательные пути или применяли наружно с тем, чтобы он мог всосаться через кожу или слизистые оболочки. Это также снижало эффективность его применения. Так продолжалось довольно долгое время. Постепенно методы очистки и концентрации улучшались, и в 1974 г. в Финляндии К. Кантель с сотрудниками<sup>3</sup> получили препараты высокоочищенного и концентрированного интерферона,

который можно было вводить путем инъекций. Авторы использовали для этой цели целлюлозно-этаноловый метод очистки.

Применение высокоочищенных и концентрированных препаратов интерферона сразу дало ощутимые результаты. Весьма важным обстоятельством, способствовавшим успеху, оказалась возможность вводить интерферон внутрь организма путем инъекций. Первое удовлетворительное доказательство эффективности концентрированного интерферона при терапии вирусных заболеваний людей было получено в 1976 г. при лечении герпетического кератита. Это заболевание вызывается вирусом герпеса. Оно может привести к изъязвлению роговицы, что грозит опасностью потери зрения. Было отмечено, что применение глазных интерфероновых капель дало лечебный эффект.

В дальнейшем препараты очищенного и концентрированного интерферона были с успехом применены для лечения вирусных заболеваний верхних дыхательных путей и в том числе гриппа, вирусного гепатита В и других болезней (см. табл.).

В Советском Союзе также проводились работы, касающиеся разных сторон изучения интерферона. В 1977 г. была разработана и введена в действие специальная научная программа «Интерферон», которую возглавил В. Д. Соловьев. В рамках этой программы, включавшей целый ряд направлений по исследованию интерферона, было проведено и изучение возможностей его очистки и концентрирования. В результате сотрудниками Института эпидемиологии и микробиологии им. Н. Ф. Гамалеи В. П. Кузнецовым и Л. Н. Мехедовым был разработан метод аффинной очистки интерферона<sup>4</sup>, который позволил получить концентрированный препарат с минимальным содержанием примесей, вызывающих иммунные реакции организма. К таким примесям относятся, например, антигены клеток крови, а также вирусы, используемые в процессе приготовления интерферона. В 1977 г. начались клинические испытания отечественного очищенного и концентрированного интерферона. Они были проведены в Онкологическом научном центре АМН СССР, в отделении, которым заведует профессор Л. А. Махонина. Первые результаты их были доложены в Баку, в 1979 г. на

<sup>3</sup> Cantell K. et al. J. gen. Virol., 1974, v. 25, p. 453.

<sup>4</sup> Kuznetsov V. P., Mekhedov L. N., Soloviev V. D. Acta biol. med. Germanica, 1979, v. 38, p. 801.

**Таблица**  
**Использование человеческого лейкоцитарного интерферона в онкологической клинике**

| Заблевание                     | Метод введения              | Авторы           |
|--------------------------------|-----------------------------|------------------|
| остеосаркома                   | внутримышечно               | Страндер [1974], |
| рак шейки матки                | местно                      | Икич [1975]      |
| рак кожи                       | местно                      | Икич [1975]      |
| болезнь Ходжкина               | внутримышечно               | Гломгрен [1975]  |
| папилломатоз мочевого пузыря   | местно                      | Икич [1973]      |
| лимфома                        | внутримышечно               | Мориган [1978]   |
| рак грудных желез              | внутримышечно и местно      | Икич [1979]      |
| острый лимфобластоидный лейкоз | внутримышечно и внутривенно | Махонова [1979]  |
| меланома кожи                  | местно                      | Икич [1979]      |
| миелома                        | внутримышечно               | Страндер [1979]  |
| лейкемия                       | внутривенно                 | Хилл [1979]      |
| миелома                        | внутримышечно               | Гуттерман [1979] |

Всесоюзном съезде гематологов и трансфузиологов<sup>5</sup>.

Интерферон был примен для лечения 40 детей, больных острым лейкозом. В результате улучшились клиничко-гематологические показатели и усилился положительный эффект химиотерапевтических средств.

Самостоятельное значение имеет использование интерферона в животноводстве для предупреждения и лечения вирусных заболеваний животных. С этой целью В. Д. Соловьевым с сотрудниками были проведены испытания концентрированного интерферона, полученного из лейкоцитов крови свиней и коров.

Свойства свиного интерферона изучались на поросятах<sup>6</sup>. На одной группе животных, зараженных вирусом болезни Ауески, испытывали защитное действие интерферона, а на другой — больных вирусным гастроэнтеритом — его лечебное действие. Эта же группа исследователей провела опыт по лечению телят, больных острым вирусным респираторном заболеванием. Здесь для лечения был использован концентрированный коровий лейкоцитарный интерферон. Результаты испытаний обоих препаратов показали эффективность проведенного лечения и профилактического введения интерферона и свидетельствуют о перспективности использования его препаратов в животноводстве.

### ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРФЕРОНА ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ

Интерферон использовали не только для лечения и предупреждения вирусных заболеваний, но и для борьбы с новообразованиями.

Мысль применить интерферон для терапии опухолей основывалась на его способности тормозить рост опухолевых клеток в пробирках значительно сильнее, чем нормальных клеток, а также на том факте, что многие опухоли животных и некоторые опухоли человека вызываются онкогенными вирусами.

В 1976 г. группа французских исследователей во главе с И. Грессером показала, что введение мышам, зараженным вирусами, антиинтерферонной сыворотки значительно сокращало длительность выживаемости животных. Более того, у некоторых линий мышей, для которых было характерно появление самопроизвольных опухолей (сарком), введение антиинтерферонной сыворотки вызывало более частое появление этих опухолей.

Эффективность лечения во многом зависела от длительности применения интерферона. Так, длительное лечение интерфероном определенной линии мышей, для которых характерно развитие спонтанных лейкоемий, увеличивало продолжительность их жизни примерно вдвое. Если же интерферон вводили до развития лейкоемий, то число возникших заболеваний уменьшалось с 95 до 68%. Аналогичные данные были получены и при лечении других новообразований у животных.

Результаты экспериментов на животных послужили основанием для испытаний

<sup>5</sup> Махонова Л. А. и др. Острый лейкоз. — Тезисы докладов Всесоюзного съезда гематологов и трансфузиологов. М., 1979.

<sup>6</sup> Соловьев В. Д., Огарков В. И., Марченко В. И. и др. Вопросы вирусологии, 1980, № 5.

на людях, и сегодня мы уже располагаем данными об успешном опыте применения интерферона в онкологической клинике. Первое сообщение об этом было опубликовано еще в 1966 г. Е. Фалькоф с сотрудниками. Оказалось, что повторное введение нескольких тысяч единиц человеческого лейкоцитарного интерферона больным с острой лейкемией в течение продолжительного времени продлевало их жизнь. Однако наибольший успех был достигнут Х. Страндером с коллегами в Каролинском госпитале Стокгольма при лечении интерфероном больных с остеосаркомами. Остеосаркома — злокачественное неопластическое заболевание кости у молодых людей возраста 10—25 лет. С 1971 по 1977 г. число таких больных, леченных интерфероном, составило 28 человек. После установления диагноза им вводили препарат внутримышечно по 3 млн доз каждому больному в течение приблизительно полутора лет. В результате, в 1978 г. среди получавших интерферон пациентов продолжали жить 73% больных, тогда как в контрольной группе людей, получавших обычное лечение, в живых осталось менее 35%. Введение интерферона не только повышало выживаемость после операции, но и предотвращало появление метастазов. Кроме того, пациенты, получавшие интерферон, были менее чувствительны к вирусным инфекциям, чем обычные раковые больные.

### ИСТОЧНИКИ ИНТЕРФЕРОНА

Интерферон-I вырабатывается клетками под действием на них вирусов. Чаще всего для этой цели используют вирус Сендай и вирус болезни Ньюкаста. В целом клетки вырабатывают небольшие количества интерферона в течение сравнительно короткого периода времени. Поэтому для крупномасштабного производства этого препарата нужны большие количества клеток. Как уже упоминалось, антигенность и видовая специфичность интерферона требует, чтобы медицинский препарат обязательно вырабатывался человеческими клетками. В настоящее время существуют три основных источника интерферона: лейкоциты, фибробласты и линии лимфобластоидных клеток.

Основным источником человеческого интерферона в настоящее время служат лейкоциты, и большая часть современных знаний о фармакокинетике, токсикологии и клинической пригодности интерферона основана на изучении именно этого мате-

риала. Сейчас можно получать лейкоциты в больших количествах. Подсчитано, что современный центр переливания крови, обслуживающий население численностью в один миллион человек, мог бы ежегодно давать около  $10^{14}$  лейкоцитов для приготовления интерферона. При существующей технологии из такого количества клеток можно приготовить  $10^{11}$  единиц интерферона. Следует уточнить, что основными продуцентами интерферона являются лимфоциты, но в обычной практике их не отделяют от других клеток белой крови.

Принцип технологии получения лейкоцитарного интерферона сводится к получению клеток крови доноров и удалении из них эритроцитов. После этого оставшиеся лейкоциты подвергаются действию вируса-индуктора интерферона. Последний, синтезируясь в клетках, переходит затем в окружающую питательную среду. Эту среду центрифугированием отделяют от массы клеток, и содержащийся в ней интерферон очищают и концентрируют. Конечный продукт содержит до  $10^8$  единиц интерферона в 1 мл и имеет специфическую активность более  $10^6$  ед/мг белка. Препараты человеческого интерферона хорошо сохраняются в течение года при температуре  $4^{\circ}\text{C}$  без сколько-нибудь существенной потери активности.

Клетки белой крови трудно культивировать вне организма. Гораздо выгоднее использовать для производства интерферона клетки, которые хорошо размножаются вне организма в лабораторных условиях. Правда, сложность такого подхода состоит в опасности изменения свойств таких клеток, и в особенности превращения их в злокачественные. После долгих поисков был найден, наконец, подходящий объект — фибробласты. Линии этих клеток можно выращивать посредством серийных пассажей и получать тем самым большое количество однородных клеток. В настоящее время проводится изучение технологии массового выращивания клеток, а также методов концентрирования и очистки фибробластного интерферона.

Третьим источником интерферона служат трансформированные человеческие лимфобластоидные клетки. Их получают из лимфом или же из нормальных лейкоцитов, трансформированных онкогенным вирусом Эпштейна — Барра. Иными словами, интерферон можно получать из клеток, свойства которых близки к свойствам злокачественных клеток. Основное достоинство лимфобластоидных линий кле-

ток состоит в том, что число их пассажей может быть практически неограниченным. Это значительно упрощает организацию крупного производства интерферона и снижает его стоимость. Однако не следует забывать, что такой интерферон будет получать из клеток, обладающих чертами опухолевых, и потому к вопросу об его использовании следует подходить с большой осторожностью.

### ПОИСКИ ИСТОЧНИКОВ ИНТЕРФЕРОНА

Мы уже останавливались на том, что эффективность использования интерферона при лечении вирусных и онкологических заболеваний зависит от величины доз его препаратов и длительности применения. В 1974 г. было установлено, что для успешной борьбы с вирусными заболеваниями концентрация интерферона в сыворотке крови не должна быть меньше 100 ед./мл. Ввиду того что интерферон быстро исчезает из организма, его нужно вводить часто, предпочтительно — каждые 12 час. В настоящее время оптимальной предлагается считать дозу интерферона, составляющую  $4 \cdot 10^6$  его единиц на килограмм веса. При расчете на средний вес человека в 75 кг вводимая доза составит  $3 \cdot 10^8$  единиц. Вспомним, что центр переливания крови, обслуживающий 1 млн человек, способен ежегодно готовить около  $10^{11}$  единиц интерферона. Если учесть длительность лечебного курса этим препаратом, то станет очевидно, что интерферон может быть использован для лечения сравнительно ограниченного числа больных. С другой стороны, стремление к получению высококонцентрированных и очищенных препаратов интерферона, пригодных для инъекций, сопровождается значительным усложнением очистки интерферона, что обуславливает в сочетании с высокой стоимостью используемого в основном источника интерферона — лейкоцитарной массы — чрезвычайную дороговизну его препаратов.

Согласно расчетам, 1 доза человеческого лейкоцитарного интерферона, составляющая  $1 \cdot 10^6$  единиц противовирусной активности, стоит 100 долл. Исходя из этого, стоимость лечения в течение одного месяца достигает 30 тыс. долл. Правда, использование интерферона, практически не обладающего побочным действием и в связи с этим дающего возможность использовать его амбулаторно, т. е. при содержании пациентов дома, будет

обойтись дешевле. Тем не менее широко внедрить интерферон в практику здравоохранения можно будет лишь при наличии значительно более дешевого препарата.

На сегодняшний день возникла острая необходимость в проведении более широких испытаний интерферона с дальнейшей перспективой передачи его в клинику в качестве мощного терапевтического средства, для чего необходимо организовать его соответствующий промышленный выпуск. С этой целью значительно проще и дешевле было бы использовать индукторы интерферона, например полиинозиновую и полицитидиловую кислоты (сокращенно: поли И, поли Ц). В опытах на животных они оказались весьма эффективны, показав себя хорошими антивирусными и антиопухолевыми агентами. Однако в клинике они не дали хороших результатов. Как выяснилось, это отчасти связано с присутствием в крови человека и приматов высоких концентраций определенных ферментов (сывороточных нуклеаз), разрушающих и инактивирующих чужеродные нуклеиновые кислоты.

Весьма обнадеживающими следует считать сведения, появившиеся в литературе в последние годы, об использовании в клинике нелейкоцитарных человеческих интерферонов. Так, в 1977 г. А. Десомер сообщил о лечении остеосарком и нейробластом с помощью человеческого фибробластного интерферона.

Другим перспективным направлением, способным решить эту задачу, может стать использование методов генной инженерии. Введение генетической информации в геном бактерий, в принципе, может привести к продукции такими бактериями белка, код синтеза которого был им введен.

В начале 70-х годов появились сообщения французских и советских авторов, обнаруживших в клетках при действии на них вирусов или других индукторов интерферона образование информационно-РНК, имеющей прямое отношение к синтезу интерферона<sup>7</sup>. Эти работы стали важным звеном для проведения последующих испытаний в области генной инженерии этого препарата.

В 1976 г. впервые было показано, что интерферон может переносить информационную РНК из клеток эвкарриот в клетки

<sup>7</sup> Орлова Т. Г., Георгадзе А. И., Кагновицкая А. И. Вопросы вирусологии, 1974, № 4, с. 431, Maeyer-Guignard J. E., de et al. Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1972, v. 69, p. 203.

бактерий<sup>8</sup>. Затем в 1979 г. в лаборатории профессора Цюрихского университета Ч. Вайсмана был получен активный интерферон из бактерий, содержащих ген человеческого интерферона. Путем сложных многоступенчатых манипуляций авторы сумели ввести в геном кишечной палочки ген синтеза интерферона, выделенный ими из лимфоцитов человека, обработанных вирусом. Проверка подтвердила, что эти бактерии способны вырабатывать интерферон, который по своим свойствам почти не отличался от лейкоцитарного интерферона человека. Однако количество его, продуцируемое кишечными палочками, было приблизительно в 1000 раз меньше, чем у аналоговых с этими бактериями объемов лейкоцитов человека. Тем не менее Вайсман полон оптимизма. Он надеется, что в скором времени получит новые, более мощные продуценты интерферона.

Несколько другим путем идут советские исследователи. В последние два года группа советских исследователей во главе с В. Д. Соловьевым<sup>9</sup> показала, что интерферон, полученный из лейкоцитов свиньи, имел высокую антивирусную активность при его испытании на клетках человека, культивировавшихся в лабораторных условиях.

Мы писали уже о том, что для интерферона характерна видоспецифичность, т. е. способность вызывать антивирусное состояние в клетках или организме животных того вида, из которого данный интерферон был получен. Тем не менее известно, что некоторые виды интерферона проявляют сравнительно небольшую активность и в гетерологических системах, т. е. в клетках животных других видов. При этом наблюдается довольно интересная особенность: гетерологическая активность чаще проявляется у интерферона, полученного из клеток более высокоорганизованных организмов при испытании его противовирусного действия на клетках животных находящихся на более низкой ступени развития. Так, человеческий интерферон обладает антивирусной активностью в клетках обезьян, коров, свиней, кроликов,

мышей и пр. В то же время проявление активности интерферонов животных в клетках человека составляет исключение из этого правила.

По данным советских исследователей, свиной интерферон, так же как и человеческий лейкоцитарный интерферон, индуцировал наибольшую антивирусную активность в гомологичных клетках. Однако свиной интерферон был активен и в гетерологической системе. Его противовирусное действие на клетках человека было сравнимо с активностью, индуцируемой человеческим лейкоцитарным интерфероном, менее выражено оно было на клетках обезьян, а на клетках мышей или развивающихся куриных эмбрионов активность была слабой.

Сходство действия свиного и человеческого интерферонов, возможно, объясняется близостью антигенов организма свиньи и человека. Этот факт был установлен сравнительно давно, но еще не нашел объяснения. В работах В. Д. Соловьева и Л. И. Подкидышевой<sup>10</sup> было обнаружено наличие общих антигенов и у обоих видов интерферона. Было, в частности, продемонстрировано, что антитела, полученные к человеческому интерферону, нейтрализовали действие свиного интерферона, и наоборот, антитела к свиному интерферону нейтрализовали интерферон человека.

Лечебное действие обоих препаратов было испытано на обезьянах — явайских мартышках. Животных заражали вирусом оспавакцины, вызывавшим у них на коже местное воспаление. Применение как свиного, так и человеческого интерферонов предотвращало появление у обезьян, зараженных вирусом, каких-либо кожных поражений.

При испытаниях свиного интерферона на добровольцах препарат показал хорошую переносимость, не уступающую переносимости человеческого интерферона.

Свиной интерферон применяли при лечении людей, страдающих герпетическими поражениями лица и половых органов. Испытания проводили в Центральном научно-исследовательском кожно-венерологическом институте АМН СССР, в отделе дерматологии, которым заведует А. А. Каламкрян<sup>11</sup>. Была применена мазь, содер-

<sup>8</sup> Orlova T., Georgadze A. Acta Virol., 1976, v. 20, p. 167.

<sup>9</sup> Соловьев В. Д., Баландин И. Г. Современное состояние учения об интерфероне. Достижения и перспективы.— VI Международный региональный симпозиум социалистических стран по интерферону. Сентябрь, 1980.

<sup>10</sup> Соловьев В. Д., Подкидышева Л. Н. Вопросы вирусологии, 1980, № 5.

<sup>11</sup> Гребенюк В. Н., Марченко В. И., Парфенов В. В. и др. Вопросы вирусологии, 1980, № 5.

жавшая свиной интерферон. Лечению подверглись 78 человек. Применение интерфероновой мази показало ее полную безвредность и терапевтическую эффективность, сравнимую с эффективностью мази, содержащей человеческий лейкоцитарный интерферон. Эти данные позволили рекомендовать свиной интерферон для проведения дальнейших клинических испытаний.

### ЧТО ЖЕ ДАЛЬШЕ?

Наш рассказ об интерфероне подходит к концу, хотя и остановился он, пожалуй, на самом интересном месте. За всю свою уже почти 25-летнюю историю интерферон не привлекал к себе большего внимания, чем в настоящее время. Сейчас им интересуется широкий круг самых различных специалистов: биохимиков, биофизиков, цитологов, иммунологов, генетиков. Нет сомнений в практической ценности этого препарата, и нам приятно сознавать, что вклад советских исследователей в развитие проблемы интерферона весьма значителен. Но нужно идти вперед. Дальнейшая программа исследований весьма обширна. Следует, например, попытаться найти новые мощные индукторы интерферона, которые можно было бы использовать без вреда для лечения людей, страдающих вирусными и онкологическими заболеваниями. Большого внимания заслуживает изучение иммунного интерферона, особенно в свете недавних опубликованных сообщений о его большей эффективности как антиопухолёвого препарата по сравнению с лейкоцитарным и лимфобластным интерфероном. Весьма интересны наблюдения Х. Флейшмана с сотрудниками над действием смешанных препаратов фибробластного и иммунного интерферонов на клетки. Оказалось, что оба интерферона вызывают более высокий уровень противовирусной защиты, чем это можно было ожидать на основании суммирования их раздельной активности, что позволяет сделать вывод о взаимном усилении действия этих препаратов. Этот факт может иметь большое значение при комбинированном использовании интерферонов различного происхождения в целях терапии.

Из накопленного опыта работы с интерфероном известно, что эффективность его лечебного действия колеблется в зависимости от индивидуальных особенностей организма человека или животного, которым вводятся его препараты. Совсем

недавно исследованиями, проведенными во Франции и Швейцарии, было установлено, что в клетках организма животных и человека содержится специальный набор генов, который влияет на выраженность действия интерферона и, в частности, на стимулирование или ингибирование им ряда иммунных реакций. Эти данные могут лечь в основу разработки более точных схем терапевтического применения интерферона в клинике или ветеринарии.

Что же касается проблемы получения больших количеств интерферона для терапии, то надо полагать, что со временем она будет решена. В этом плане не лишена интереса опубликованная недавно работа французского исследователя Б. Факонье с сотрудниками, которые намерены получать интерферон из клеток селезенки людей. Существенно, что для этой цели можно использовать трупный материал. Из клеток каждой селезенки авторы сравнительно простым методом получали около  $10^8$  единиц интерферона. Как показали расчеты, одна селезенка может заменить кровь от 50 доноров.

Вызывают интерес также исследования советских и зарубежных авторов по получению интерферона из клеток небных миндалин, удаляемых по поводу хронического тонзиллита. Работы в этом направлении продолжаются. Перспективны, на наш взгляд, поиски новых источников интерферона. Огромные возможности массового и дешевого получения этого препарата сулят методы генной инженерии.

Ждет своего разрешения изучение химической природы очищенного интерферона. При этом особое внимание должно быть уделено двум вопросам. Во-первых, какие компоненты и фрагменты интерферона обуславливают его биологическую активность? Решение этого вопроса, с одной стороны, позволит преодолеть барьер специфичности действия интерферона, а с другой — химическая модификация таких компонентов даст возможность получать более эффективные препараты.

Во-вторых, изучение структуры интерферона откроет путь искусственному синтезу его молекул или отдельных биологически активных фрагментов.

Таким образом, впереди еще большой и трудный путь поисков ответов на все те вопросы, которые стоят перед исследователями интерферона. Будем надеяться, что время, требуемое для прохождения этого пути, не будет слишком долгим.

## Ультрахолодные нейтроны

А. И. Франк



Александр Ильич Франк, кандидат физико-математических наук, начальник группы нейтронной оптики Института атомной энергии им. И. В. Курчатова. Основные работы связаны с исследованиями распада свободных нейтронов. В последние годы занимается физикой ультрахолодных нейтронов.

Широко известны успехи, достигнутые в последние годы в физике высоких энергий, что в большой степени связано с появлением новых ускорителей. Менее известен тот факт, что прошедшее десятилетие ознаменовалось началом работ с частицами необычайно низких энергий, ниже  $10^{-7}$  эВ. Речь идет об очень медленных, так называемых ультрахолодных нейтронах, скорость которых не превышает 5—7 м/с. Оказывается, что при этом у нейтронов появляются совершенно необычные свойства.

Интересно, что внимание к таким очень медленным нейтронам было привлечено в связи с событиями, происходящими в физике высоких энергий. Дело в том, что в 1964 г. в экспериментах с ускоренными частицами были обнаружены такие случаи распада нейтральных К-мезонов, которые могли иметь место только при нарушении инвариантности законов природы по отношению к обращению времени (нарушение Т-инвариантности). Это явление было совершенно уникальным, и во всем мире стали интенсивно вести поиски других таких явлений. В частности, у элементарных частиц искали постоянные электрические дипольные моменты, существование которых возможно только при нарушении Т-инвариантности.

Искали электрический дипольный момент и у нейтрона и не находили. Одним

из возможных путей улучшения чувствительности экспериментов было увеличение времени пребывания нейтронов в экспериментальной установке. Для этого нужно было либо удлинить установку, чтобы пролетающий нейтрон дольше в ней оставался, либо работать с нейтронами меньших скоростей. В январе 1968 г. в зале Московского дома ученых проходил семинар по проблемам нарушения СР-инвариантности<sup>1</sup>. Доклад об электрических дипольных моментах элементарных частиц делал известный советский физик Ф. Л. Шапиро (1915—1973)<sup>2</sup>. Рассматривая перспективы поиска дипольного момента нейтрона, он предложил обратиться к идее, высказанной Я. Б. Зельдовичем почти десятью годами раньше. В работе Я. Б. Зельдовича было показано, что все нейтроны, имеющие скорость, меньшую определенной граничной, должны полностью отражаться от поверхности вещества при всех углах падения, и,

<sup>1</sup>Символ С означает зарядную инверсию, т. е. замену частиц на античастицы. Символ Р — пространственную инверсию — зеркальное отражение осей координат. Понятия СР- и Т-инвариантности почти эквивалентны в силу СРТ-теоремы, гласящей, что законы природы инвариантны относительно всех трех преобразований, производимых одновременно.

<sup>2</sup>Шапиро Ф. Л. УФН, 1968, т. 95, с. 145.

стало быть, их можно накапливать в емкостях<sup>3</sup>. Ф. Л. Шапиро и предложили использовать такую емкость с нейтронами для измерения их электрического дипольного момента. В этом случае время пребывания нейтрона в установке ограничивалось уже не временем пролета, а временем удержания нейтрона в сосуде, которое, как надеялись, можно довести до величины в сотни секунд. При этом чувствительность эксперимента должна была возрасти, несмотря на весьма малое количество нейтронов, которые можно было накопить.

По оценкам, доля ультрахолодных нейтронов от числа идущих из реактора очень мала, около  $10^{-13}$ . Именно поэтому предложением Я. Б. Зельдовича никто не пытался воспользоваться почти десять лет. В работе же по поиску электрического дипольного момента выигрыш от применения новой методики казался столь важным, что в Объединенном институте ядерных исследований (Дубна) группа физиков под руководством Ф. Л. Шапиро начала работы по извлечению ультрахолодных нейтронов из реактора и удержанию их в емкостях. Первые результаты были получены в том же 1968 г. К 1970 г. были выполнены довольно подробные исследования по хранению ультрахолодных нейтронов в сосудах. Почти одновременно в Ленинграде группа В. М. Лобашова приступила к подготовке измерения электрического дипольного момента. В 1973 г. эксперименты с ультрахолодными нейтронами велись уже в пяти ядерных центрах СССР.

А через несколько недель после того, как Ф. Л. Шапиро сделал свой памятный доклад, в феврале 1968 г. в Мюнхене начал работать нейтронный спектрометр, предназначенный для изучения взаимодействия очень медленных нейтронов с веществом. К тому времени данные о сечениях (вероятностях) взаимодействия нейтронов с атомными ядрами были известны только для нейтронов со скоростями 200 м/с и выше. Чтобы продвинуться в область более медленных нейтронов, А. Штайерл сконструировал установку, с помощью которой можно было продолжить исследования при скорости нейтронов вплоть до 5—7 м/с. В 1974 г. были опубликованы результаты опыта Мюнхенской группы по хранению ультрахолодных нейтронов в сосудах. Ныне подобные исследования ведутся уже во многих странах мира.

За время, прошедшее от появления первых работ, физики научились получать достаточно интенсивные пучки ультрахолодных нейтронов и довольно долго хранить их в сосудах. Такие нейтроны были успешно использованы и в опыте по поиску электрического дипольного момента<sup>4</sup>. И хотя он опять не был обнаружен, удалось установить еще более низкий предел для возможного значения этой величины.

Такова недавняя история начала работ в этой новой области нейтронной физики. Но чтобы понять, какими свойствами обладают ультрахолодные нейтроны и с чем связана особенность этих свойств, полезно обратиться к более давней истории.

### ЧТО ТАКОЕ УЛЬТРАХОЛОДНЫЕ НЕЙТРОНЫ?

Становление нейтронной физики в ее современном виде связано с созданием мощных источников нейтронов — атомных реакторов. Первый реактор, построенный под руководством Э. Ферми, начал действовать в 1942 г. В 1944 г. работали уже довольно крупные реакторы, и Ферми начал интенсивные работы по изучению нейтронов и особенностей их взаимодействия с веществом.

Уже в первых опытах было обнаружено существенное проявление волновых свойств нейтрона. Этого, конечно, можно было ожидать. Волновые и корпускулярные свойства материи тесно связаны. Так же, как луч света — это электромагнитная волна и одновременно поток корпускулярных фотонов, так и поток частиц всегда обладает волновыми свойствами. Соответствующая длина волны движущейся частицы определяется соотношением де Бройля, которое в случае малых скоростей имеет вид:  $\lambda = h/mv$  ( $h = 6,27 \cdot 10^{-27}$  эрг · с — постоянная Планка,  $m$  — масса,  $v$  — скорость частицы). Для нейтрона тепловой энергии ( $v = 2200$  м/с) длина волны составляет 0,18 нм.

Сотрудник Э. Ферми Г. Андерсон вспоминал позднее: «В экспериментах, так четко зависевших не от корпускулярных, а от волновых свойств частиц, было что-то очень притягательное. Длины волн и сечения рассеяния нейтронов были сравнимы с такими же характеристиками для рентгеновских лучей. Это позволило предполагать наличие у различных веществ показа-

<sup>3</sup>Зельдович Я. Б. ЖЭТФ, 1959, т. 36, с. 1952.

<sup>4</sup>Алтарев И. С., Борисов Ю. В. и др. Письма в ЖЭТФ, 1979, т. 29, с. 794.

теля преломления для нейтронов. В июле 1944 г. Ферми и Зинн попытались определить показатель преломления у нейтронов с помощью метода полного отражения. Это послужило началом серии экспериментов по нейтронной оптике»<sup>5</sup>.

Аналогия с электромагнитной волной действительно была очень близкой. Вспомним, что природа показателя преломления состоит в том, что при распространении в среде свет рассеивается ее атомами и интерференция падающей и рассеянных волн определяет отраженную и преломленную волны. Величина показателя преломления связана при этом с сечением рассеяния или, точнее, с амплитудой волны, рассеянной вперед. Но если световая волна взаимодействует с электронными оболочками атомов, то нейтронная волна, взаимодействуя с атомными ядрами вещества, также может рассеиваться. Видимо, исходя из этих соображений, Ферми получил формулу для величины показателя преломления, которая в современной записи такова:

$$n^2 = 1 - \lambda^2 \frac{Nb}{\pi}$$

Здесь  $n$  — показатель преломления,  $N$  — концентрация ядер вещества,  $b$  — параметр, называемый длиной когерентного рассеяния ядер вещества.

Величина  $b$  связана с изменением фазы нейтронной волны при рассеянии, причем она может быть как положительной, так и отрицательной. Если  $b < 0$ , то показатель преломления, как и в обычной оптике, больше единицы.

В случае  $b > 0$  при достаточно большом значении  $\lambda$  величина  $n^2$  может стать равной нулю или даже отрицательной, а показатель преломления  $n$  — мнимым. Это значит, что нейтронная волна не может распространяться в веществе и, следовательно, отражается от поверхности уже независимо от угла падения. Посмотрим, при какой скорости это произойдет. Из приведенных выше выражений для  $\lambda$  и  $n$  легко получить:

$$v_{гр}^2 = \frac{h^2}{m^2} \cdot \frac{Nb}{\pi}$$

Величину  $v_{гр}$  называют граничной скоростью нейтронов для данного вещества. Для большинства твердых веществ она лежит в области нескольких метров в секунду. Этой скорости соответствует некоторое

### Граничная энергия для некоторых материалов

| Материал | Граничная энергия, $10^{-10}$ эВ | Длина волны, нм | Скорость нейтронов, м/с |
|----------|----------------------------------|-----------------|-------------------------|
| Al       | 0,55                             | 122             | 3,2                     |
| Mg       | 0,605                            | 116             | 3,36                    |
| Cu       | 1,72                             | 69              | 5,7                     |
| C        | 1,94                             | 65              | 6,1                     |
| Be       | 2,40                             | 58              | 6,8                     |

значение кинетической энергии нейтрона, которое называют граничной энергией:

$$E_{гр} = \frac{mv_{гр}^2}{2} = \frac{h^2 Nb}{2\pi \lambda}$$

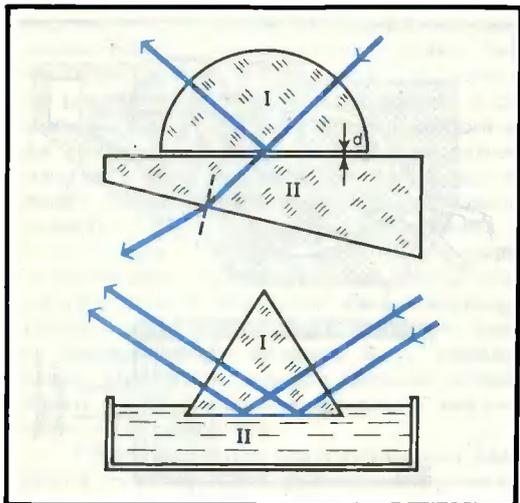
Естественно предположить, что граничная энергия — это работа, которую нейтрон должен совершить при входе в среду. Это предположение убедительно подтверждается в точных расчетах. Очевидно, что при взаимодействии нейтрона со средой на границе раздела может меняться только нормальная к поверхности среды составляющая скорости нейтрона. При этом полное отражение будет происходить, когда эта нормальная компонента меньше граничной скорости:  $v_{\perp} < v_{гр}$ . При  $v > v_{гр}$  полное отражение будет происходить только при углах падения, меньших некоторого критического угла  $\theta_0$ , причем  $\sin \theta < \sin \theta_0 = v_{гр}/v$ . С уменьшением скорости величина критического угла растет, и при  $v \leq v_{гр}$  полное отражение возможно при любом угле падения. Это и есть случай ультрахолодных нейтронов.

На языке квантовой механики отражение ультрахолодных нейтронов от границы вещества есть отражение частицы от потенциального барьера. При этом, как мы знаем, если кинетическая энергия частицы меньше высоты барьера, волна, с ней связанная, а точнее волновая функция частицы, быстро затухает в веществе вблизи границы раздела. Однако нейтрон, конечно, можно обнаружить в этом тонком, порядка длины волны нейтрона, приграничном слое. Поэтому достаточно тонкая пленка может оказаться прозрачной для нейтронов. Природа этого явления чисто волновая. Во многих учебниках оптики описывается опыт Квинке, демонстрирующий, что при полном внутреннем отражении электромагнитная волна все же выходит из вещества на расстояние масштаба  $\lambda$ .

Рассматривая отражение ультрахолодных нейтронов от границы вещества, мы до сих пор не учитывали погло-

<sup>5</sup>В кн.: Ферми Э. Научные труды. М.: Наука, 1972, т. 2, с. 326.

щения нейтронов. Оказывается, однако, что учет поглощения нейтронов веществом почти не меняет картину. Волна по-прежнему не может глубоко проникнуть в среду — и это есть следствие интерференции рассеянных волн. Поэтому как вероятность обнаружить нейтрон в среде, так и вероятность захвата нейтрона средой, малы. В результате коэффициент отражения хотя и не равен в точности единице, но весьма высок. Для обычных веществ он отличается от единицы всего на величину  $10^{-3}$  —  $10^{-4}$ . Отсюда и следу-



Классические оптические эксперименты, демонстрирующие выход волны во вторую среду при полном внутреннем отражении.

**Вверху:** опыт Кавиче — проникновение волны в среду II, когда среды разделены промежутком  $d$  и  $d < \lambda$ . В случае ультрахолодных нейтронов происходит проникновение нейтронной волны через пленку вещества толщиной  $d$  — туннельный эффект. **Внизу:** опыт Мандельштама — Зелени. Среда — флуоресцирующая жидкость. Хотя условия полного отражения выполнены, наблюдается свечение жидкости, т. е. часть света поглощается, вызывая вторичный процесс. Это подтверждает реальность проникновения волны во вторую среду. Вполне аналогично поглощается часть ультрахолодных нейтронов при «полном» отражении от среды.

ет возможность длительного удержания нейтронов в ловушках.

Как мы видели, для описания взаимодействия нейтрона с веществом возможны два подхода: можно ввести показатель преломления и развивать чисто оптический подход, а можно получить величину потенциала и решать квантовомеханическую задачу об отражении от потенциального барьера. Оба подхода вполне эк-

вивалентны, и это, разумеется, не случайно. Почти 150 лет назад В. Гамильтон обнаружил, что задача о движении материальной частицы в потенциальном поле вполне аналогична задаче о распространении света в среде с переменным показателем преломления. Около ста лет это обстоятельство рассматривалось лишь как изящный математический прием. Но вот в начале нашего века, когда появились достаточно интенсивные электронные и ионные пучки, эта оптико-механическая аналогия пригодилась на практике. С ее помощью было объяснено явление фокусировки пучков заряженных частиц в электромагнитных полях; появилась специальная дисциплина — электронная оптика. Затем оптико-механическая аналогия Гамильтона наряду с понятием длины волны де Бройля была положена в основу уравнения Шредингера — одного из основных соотношений квантовой механики.

Таким образом, указанные выше два подхода не являются независимыми. Следовательно, рассуждать на языке оптики и пользоваться понятием коэффициента преломления можно и в том случае, когда известен потенциал  $U$  взаимодействия нейтрона с веществом или полем. Связь между величинами показателя преломления и потенциала взаимодействия определяется выражением:

$$n^2(\vec{r}) = 1 - \lambda^2 \frac{2m}{h^2} U(\vec{r}).$$

Если речь идет о взаимодействии нейтрона с ядрами среды, то  $U = E_{г.р.}$ . Потенциал взаимодействия нейтрона с внешним магнитным полем  $\vec{B}$  равен произведению  $-\vec{\mu} \cdot \vec{B}$ , где  $\vec{\mu}$  — магнитный момент нейтрона. На движение нейтрона существенное влияние оказывает также гравитационное поле Земли, и  $U_{г.р.} = mgz$  ( $g$  — ускорение свободного падения,  $z$  — высота).

Как мы видим, при наличии гравитации или в неоднородном магнитном поле показатель преломления становится переменным, т. е. оптика нейтронов низких энергий есть оптика неоднородных сред. При этом полное отражение возможно от ядерного потенциального барьера, от магнитного потенциала и от гравитационного потенциала (последнее просто означает, что нейтрон не может подняться на высоту большую, чем  $H_{max} = v^2 / 2g$ ). А вот отражение от магнитного потенциала дает возможность создания магнитного зеркала для нейтронов и, как следствие, удержания очень медленных нейтронов в магнитных ловушках.

Каковы же величины этих основных трех потенциалов? Для большинства твердых веществ граничная энергия лежит в области  $10^{-7}$  эВ. В поле с индукцией 20 кГс, обычном в лабораторной практике, величина магнитного потенциала тоже порядка  $10^{-7}$  эВ. Такую же энергию теряет нейтрон при подъеме в гравитационном поле Земли на высоту 1 м. Как видим, для ультрахолодных нейтронов одинаково существенными являются такие разные по происхождению взаимодействия, как ядерное, электромагнитное и гравитационное. В этой области энергий величина  $p^2$  не только сильно отличается от 1, но близка к нулю или даже отрицательна, а длины волн — порядка световых ( $\lambda \approx 100$  нм).

Вспомним, что для тепловых нейтронов величина  $p^2 - 1 \approx 10^{-6}$ , длина волны  $\lambda = 0,18$  нм, а магнитное и гравитационное взаимодействия практически несущественны.

Таким образом, с уменьшением энергии нейтрона от тепловой до величины  $10^{-7}$  эВ нейтронная оптика приобретает совершенно новые черты. В сущности, это и определяет своеобразие физики ультрахолодных нейтронов.

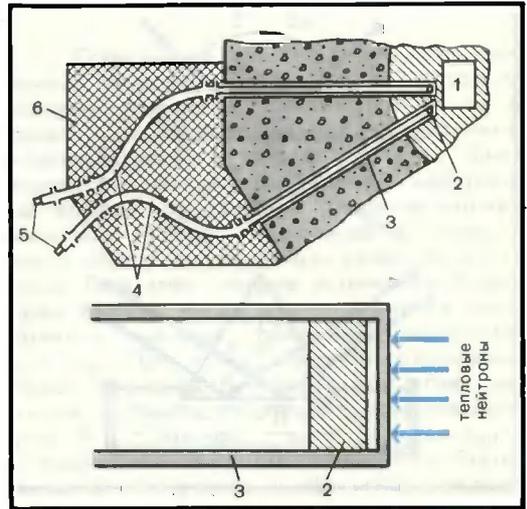
## ПОЛУЧЕНИЕ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ

Наиболее мощными источниками нейтронов и сегодня являются атомные реакторы. Энергия нейтронов, возникающих в реакторе при делении ядер урана или плутония, соответствует величине в несколько МэВ. В большинстве исследовательских реакторов кассеты с делящимся материалом окружены веществом, в котором нейтроны замедляются до тепловых энергий. Среди замедленных нейтронов имеются и ультрахолодные. Однако, если температура замедлителя близка к комнатной, доля ультрахолодных нейтронов составляет лишь  $10^{-13}$  от общего числа.

Эффект полного отражения от границы вакуум — среда позволяет выводить ультрахолодные нейтроны из реактора по сильно изогнутым трубам — нейтроноводам, в которых они распространяются, как газ. При этом быстрые нейтроны не могут преодолеть резких изгибов нейтроновода и поглощаются его стенками и окружающим их веществом. Обычно внутри нейтроновода вблизи активной зоны реактора размещают дополнительный замедлитель, называемый конвертором.

Механизм «рождения» ультрахолод-

ного нейтрона связан с неупругим рассеянием в конверторе более быстрого нейтрона, когда часть его кинетической энергии идет на возбуждение тепловых колебаний кристаллической решетки замедлителя. Поскольку энергия ультрахолодного нейтрона гораздо меньше энергии тепловых колебаний решетки, то он при любом повторном неупругом взаимодействии с решеткой конвертора приобретает от нее энергию и перестает быть ультрахолодным. Это значит, что из конвертора могут выйти лишь те ультрахолодные нейт-



Устройство горизонтальных каналов — источников ультрахолодных нейтронов. Тепловые нейтроны, идущие из активной зоны реактора 1, облучают конвертор 2, находящийся внутри нейтроновода 3. Часть нейтронов отдает свою энергию веществу конвертора, охлаждается до энергии, соответствующей ультрахолодному состоянию, и выходит в нейтроновод. «Газ» ультрахолодных нейтронов распространяется по изогнутым участкам нейтроновода 4 и достигает детектора 5. Прямой пучок поглощается защитой 6. Внизу показано расположение конвертора в нейтроновode. Наличие конвертора — важная особенность горизонтальных каналов. Ультрахолодные нейтроны при выходе в канал увеличивают свою кинетическую энергию на величину  $E_{р.р.}$ . Поэтому конвертор изготавливают из вещества, граничная энергия которого меньше, чем у нейтроновода. Это и обеспечивает полное отражение от его стенок.

роны, которые образовались в тонком поверхностном слое, толщиной порядка длины свободного пробега нейтрона. Конвертор полезно охлаждать, поскольку при этом растет длина пробега и объем, из которого извлекаются ультрахолодные нейтроны.

### Время удержания ультрахолодных нейтронов в замкнутых сосудах, измеренное Ф. Л. Шапиро с сотрудниками

| Материал и внутренний диаметр трубы | Интервал скорости нейтронов, м/с | Среднее время удержания, с | Среднее число отражений до потерь, $10^2$ | Ожидаемая величина среднего числа отражений [теоретич.], $10^2$ |
|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|---|---|
| медь 8,5 см                         | 3,2—5,7                          | $29 \pm 2,2$               | 1,64                                      | 4,17  |
| »                                   | 4,5—5,7                          | $27 \pm 1,5$               | 1,68                                      | 3,68  |
| »                                   | 0—4,6                            | $68 \pm 6$                 | 3,42                                      | 6,25  |
| »                                   | 1,5—2,9                          | $10,5 \pm 7,9$             | 3,23                                      | 10,5  |
| стекло 8 см                         | 3,2—3,9                          | $104 \pm 7$                | 5,17                                      | 1,03  |

Существуют нейтронотоды, расположенные не горизонтально, а наклонно или вертикально. В таких установках нейтроны замедляются гравитационным полем Земли. При этом их скорость на выходе из конвертора относительно велика и они могут отражаться от стенок нейтронотода только при углах падения на стенку, меньших критического. По мере замедления нейтронов критический угол увеличивается, но для полного замедления на пути вверх нейтрон должен испытать значительное число отражений. Чтобы потери при транспортировке таких ультрахолодных нейтронов были невелики, стенки нейтронотода должны быть зеркальными. При этом, однако, можно использовать конверторы и с довольно высокой гравитационной скоростью.

Для получения ультрахолодных нейтронов используются также механические устройства, принцип действия которых основан на отражении нейтронов от движущегося (убегающего) зеркала. Удобство таких приборов состоит в том, что они располагаются вне защиты реактора на имеющемся пучке холодных нейтронов. Много лет действует «нейтронная турбина» Штайерла, являющаяся сейчас основным источником ультрахолодных нейтронов на Мюнхенском реакторе<sup>6</sup>.

Сегодня наиболее интенсивные источники ультрахолодных нейтронов позволяют получать потоки интенсивностью в сотни нейтронов в секунду с каждого квадратного сантиметра сечения нейтронотода. Для сравнения укажем, что в пионерской работе Ф. Л. Шапиро с сотрудниками эта величина не превышала  $3 \times 10^{-4}$  н/с · см<sup>2</sup>.

Существующие предложения и проекты позволяют надеяться, что в ближайшие годы будут созданы еще более интенсивные источники.

### ХРАНЕНИЕ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ

Первые прямые наблюдения длительного хранения ультрахолодных нейтронов в ловушках были выполнены в 1970—1971 гг. Полученные тогда результаты показали, что время хранения нейтронов в замкнутых сосудах существенно меньше ожидаемого. В сущности, эта проблема не решена и сегодня. И хотя за прошедшие 10 лет физики привыкли к тому весьма необычному факту, что нейтроны, подобно газу, можно хранить «в банке», осталось чувство неудовлетворенности и в то же время удивления из-за того, что существует заметное несоответствие между экспериментально измеренным и теоретически оцененным временем хранения. Это расхождение и составляет ныне так называемую «проблему хранения», над которой работают как теоретики, так и экспериментаторы.

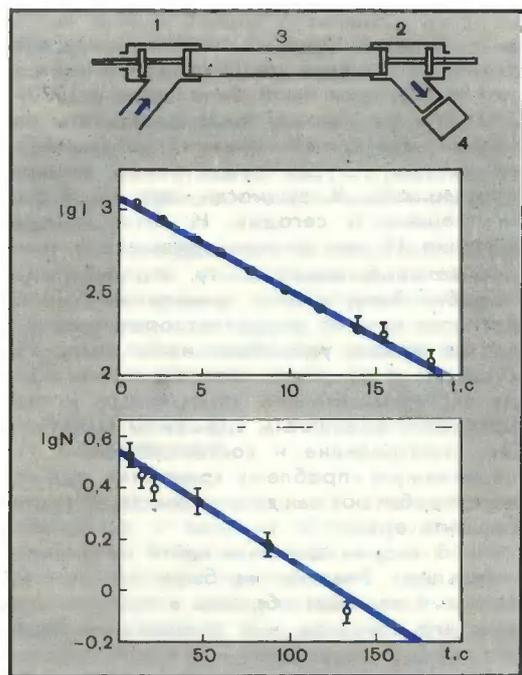
В теории пытались найти неточности и изъяны. Эти поиски были весьма полезными главным образом в том отношении, что показали, как удивительно хорошо выводы первоначальной очень простой теории подтверждаются более строгими расчетами. С другой стороны, было рассчитано влияние некоторых факторов, которые учитывают отличие реальной поверхности вещества от той идеальной, которая фигурировала в простой теории. В частности, рассматривалась роль шероховатостей поверхности, акустических колебаний стенки, поверхностных волн и т. д. Оказалось, что каждый из этих факторов может увеличить вероятность поглощения (или нагрева) нейтронов, но взятый в отдельности не разрешает противоречия.

Многие физики полагают, что наиболее вероятной причиной малого времени хранения является загрязнение поверхности сосуда. Особенно велико влияние пленки загрязнений, если она образована водородсодержащим веществом, в частности водой. Тот же эффект даст и во-

<sup>6</sup> Steyerl A. Nucl. Instrum. Meth., 1975, v. 125, p. 461.

дород, находящийся внутри стенки сосуда на глубине порядка длины волны нейтрона. Действительно, присутствие водорода на и под поверхностью было обнаружено ядерными методами. Однако, до тех пор пока время хранения не будет измерено для заведомо очищенной от водорода поверхности, нельзя сказать, является ли основным «виновником» утечки нейтронов именно водород.

Каково же сейчас состояние дел с хранением ультрахолодных нейтронов в сосудах? Можно считать установленным, что



Измерение времени удержания ультрахолодных нейтронов в сосудах. Вверху: схема опыта. 1, 2 — вентили, открывающие и закрывающие вход и выход нейтронов в сосуде для хранения; 3 — сосуд; 4 — детектор ультрахолодных нейтронов. После наполнения сосуда через вентиль 1, последний закрывается и нейтроны удерживаются в сосуде некоторое время  $t$ . Затем открывается вентиль 2, соединяя сосуд с детектором, который за некоторое время регистрирует число нейтронов  $N$ , оставшихся в сосуде после хранения. Измерения проводятся с различными временами выдержки. Внизу: зависимость числа нейтронов, зарегистрированных детектором после открывания вентиля 2, от времени выдержки нейтронов в сосуде. В центре: зависимость скорости счета детектора после открывания вентиля 2. Нейтроны выходят из сосуда не одновременно, на полное вытекание требуется определенное время.

плотность нейтронного газа, имеющего небольшой разброс по энергиям, убывает в сосуде со временем по закону  $N = N_0 \exp(-t/\tau_{\text{экс}})$ , где  $\tau_{\text{экс}}$  — экспериментально измеряемое время хранения. Рекордная величина  $\tau_{\text{экс}} = (625 \pm 25)$  с получена в большом сосуде с бериллиевыми стенками для довольно медленных нейтронов (с энергией  $2 \cdot 10^{-8}$  эВ)<sup>7</sup>.

При хранении нейтронов происходят два конкурирующих процесса, приводящих к их потере:  $\beta$ -распад нейтрона и уход нейтрона из сосуда в результате взаимодействия со стенкой, т. е. поглощения или нагрева. Поэтому  $1/\tau_{\text{экс}} = 1/\tau_{\beta} + 1/\tau_{\text{ухода}}$ , где  $\tau_{\beta} \approx 920$  с — время жизни свободного нейтрона. Величина времени ухода связана с коэффициентом поглощения нейтронов при единичном соударении и количеством соударений нейтрона в сосуде, причем эксперименты подтверждают «правильную» связь этих величин. Сам коэффициент поглощения зависит от отношения энергии нейтрона к граничной энергии сосуда, в соответствии с предсказаниями теорий. Но величина этого коэффициента, рассчитанная из известных для более быстрых нейтронов сечений взаимодействия со стенкой, не соответствует экспериментально получаемой. Все результаты по хранению можно неплохо объяснить, если допустить, что ультрахолодные нейтроны участвуют в некотором дополнительном процессе, который не свойственен более быстрым нейтронам<sup>8</sup>.

Итак, проблеме хранения нельзя считать решенной. И пока не ясно даже, насколько фундаментальна причина расхождений в теории и экспериментах. Так что физикам предстоит еще много узнать о тонких процессах взаимодействия нейтронов с поверхностью и о самих поверхностях твердых тел.

Другой подход к проблеме удержания нейтронов малых энергий был предложен В. В. Владимирским в 1960 г. Речь идет о ловушках с неоднородным магнитным полем<sup>9</sup>. Идея магнитной ловушки очень проста. Известно, что на магнит в неоднородном магнитном поле действует сила, которая либо вытягивает его в область с высоким значением индукции, либо выталкивает из этой области — в зависимости от ориентации магнитного момента.

<sup>7</sup>Косвинцев Ю. Ю., Кушнир Ю. А. и др. Письма в ЖЭТФ, 1978, т. 28, с. 164.

<sup>8</sup>Там же.

<sup>9</sup>Владимирский В. В. ЖЭТФ, 1960, т. 99, с. 1062.

Нейтрон, обладающий магнитным дипольным моментом  $\mu = 6,03 \cdot 10^{-12}$  эВ/Гс, можно рассматривать как микроскопический магнит. Чтобы поместить его в магнитное поле, необходимо совершить работу  $\mu B$ , где  $B$  — величина магнитной индукции. Если эта работа больше кинетической энергии нейтрона, то при подходящей ориентации магнитного момента нейтрон не сможет войти в область сильного поля, т. е. отразится от этой области.

В работе В. В. Владимирского были рассмотрены несколько типов магнитных

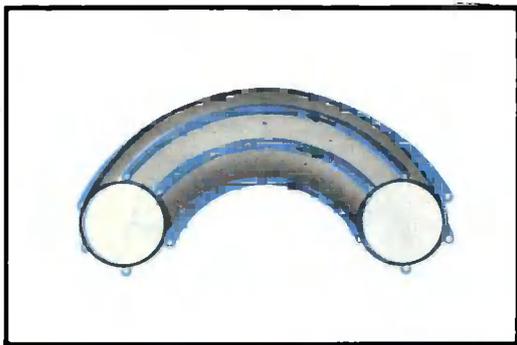


Схема устройства магнитной ловушки для ультрахолодных нейтронов. Шесть проводников с чередующимся направлением тока расположены вдоль тороидальной вакуумной камеры. Они создают магнитное поле, минимальное в центре и возрастающее у периферии камеры. Нейтроны подходящей поляризации выталкиваются из области сильного поля и движутся в камере, не касаясь стенок.

устройств для нейтронов, в том числе зеркала и нейтронотоды. Простейшее магнитное зеркало состоит из проводников с током, чередующихся так, что по соседним проводникам ток течет в противоположных направлениях. Величина образующегося при этом магнитного поля экспоненциально уменьшается при удалении от плоскости проводников. Из нескольких таких зеркал можно построить замкнутый объем.

Устройство такого типа было создано в 1976 г. в Дмитровграде, где и была впервые продемонстрирована возможность хранения ультрахолодных нейтронов в магнитных ловушках.

С помощью проводников с чередующимся направлением тока можно изготовить цилиндрический нейтронотод, магнитное поле в котором возрастает от оси к периферии. Если такой нейтронотод свернуть в виде тора, получится «магнитное кольцо» — замкнутая тороидальная

ловушка. Именно для такой ловушки в Гренобле (Франция) были получены рекордные результаты по хранению ультрахолодных нейтронов. Вероятность ухода из магнитного кольца в этих экспериментах была столь мала, что полное время хранения нейтронов определялось в основном  $\beta$ -распадом и достигало 20 минут<sup>10</sup>.

### ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА НЕЙТРОНА

Малые скорости и возможность длительного хранения ультрахолодных нейтронов представляют физикам большие удобства для исследования фундаментальных свойств нейтрона. Выше уже говорилось, что осуществление чувствительного опыта по поиску электрического дипольного момента было одной из первых целей, стоящих перед экспериментаторами. Эта цель и сегодня актуальна. Разные варианты теории дают различные предсказания для этой величины, и пока электрический дипольный момент экспериментально не обнаружен, невозможно сделать правильный выбор.

Второй, и тоже весьма важный эксперимент, который можно осуществить с ультрахолодными нейтронами — прямое измерение периода полураспада нейтрона. До последнего времени эту важную величину измеряли, используя пучки тепловых или более медленных — холодных — нейтронов. При работе с пучками всегда возникают две различные и очень трудные задачи. Необходимо вести абсолютный счет продуктов распада нейтрона (протонов или электронов) из строго определенного объема пучка и выполнить абсолютное измерение плотности пучка. Зная эти величины, можно определить вероятность распада нейтрона. Если же нейтроны могут достаточно долго храниться в замкнутом объеме, достаточно измерять только временную зависимость плотности нейтронов в ловушке. Разумеется, при этом нужно быть уверенным, что изменение плотности связано именно с распадом. Такой эксперимент пока еще не выполнен, но нет сомнения, что он будет осуществлен в ближайшее время, и наиболее пригодны для этого, скорее всего, магнитные ловушки. Сможет ли точность этого измерения конкурировать с «классическим» способом, покажет время.

Вполне вероятно, что ультрахолодные нейтроны окажутся полезными и для

<sup>10</sup>K ü g l e r K. S., Paul W., Trunks V. Phys. Lett., 1978, v. 72B, p. 422.

проведения эксперимента по поиску электрического заряда нейтрона с лучшим, чем ныне, уровнем точности.

### НЕЙТРОННЫЕ ВОЛНЫ

Одна из существенных особенностей ультрахолодных нейтронов — большая величина длины волны. Для обычного диапазона скоростей она составляет 70—100 нм. Эта величина близка к длине волны видимого света, в то время как для тепловых нейтронов она соответствует значению

0,1—0,2 нм, т. е. рентгеновскому диапазону. Это означает, что волновые свойства ультрахолодных нейтронов должны проявляться при взаимодействии с объектами, имеющими размеры, характерные для световой оптики. Действительно, в экспериментах наблюдалась интерференция нейтронных волн при отражении от тонкой пленки и дифракция на дифракционной решетке. Эти опыты поставлены в Мюнхене Г. Шехенхофером и А. Штайерлом. Примечательно, что для монохроматизации нейтронов они использовали гравитацион-

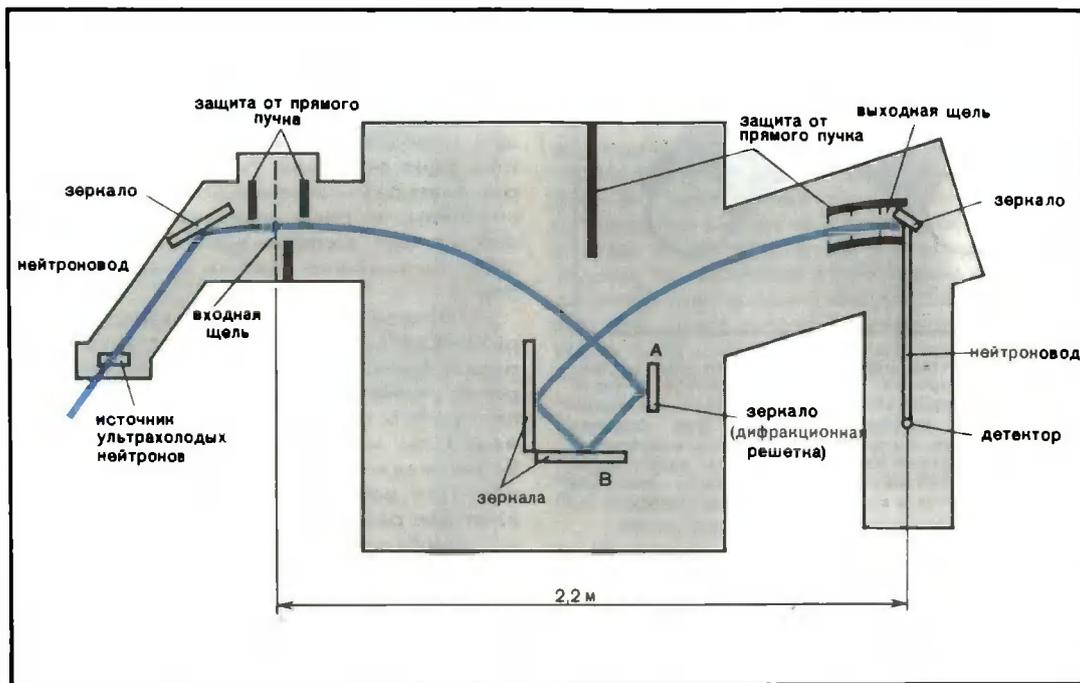


Схема гравитационного спектрометра ультрахолодных нейтронов в Мюнхене. Нейтроны от источника попадают в прибор через нейтронотвод. После отражения от зеркала они свободно движутся по параболическим траекториям в поле тяжести Земли, испытывая по пути три отражения. Система щелей пропускает только такие нейтроны, вертикальная компонента скорости которых почти равна нулю при пролете входной щели. Перемещая по высоте зеркала или другие устройства, помещенные в положение A и B, можно менять вертикальную скорость нейтронов, падающих на эти устройства. Система выходных щелей с зеркалом, нейтронотводом и счетчиком представляет собой детектор — анализатор энергии. Счетчик опущен относительно входной щели, чтобы нейтроны могли проникнуть через его входное окно, сделанное из алюминия. Измеряя зависимость счета от взаимного расположения входной и выходной щелей, можно измерять изменение вертикальной компоненты скорости нейтрона при отражении от устройств A и B. Собственное разрешение прибора  $3 \cdot 10^{-9}$  эВ.

ный монохроматор, действие которого основано на отборе определенных параболических траекторий нейтронов, свободно движущихся в поле тяжести Земли.

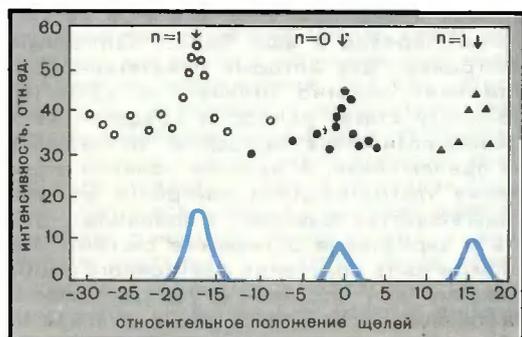
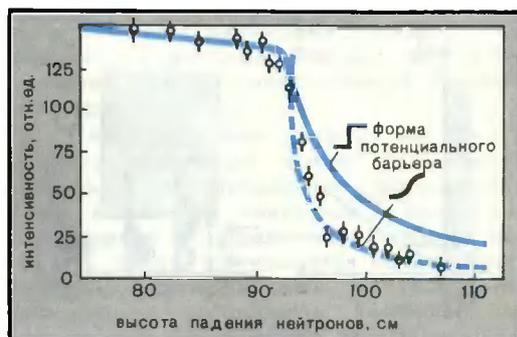
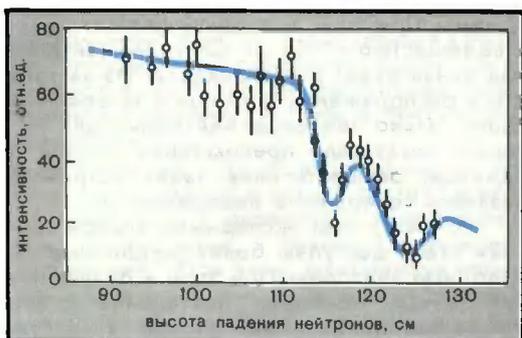
С этим же прибором была измерена зависимость от скорости коэффициента отражения нейтронов от стеклянного зеркала. Очень интересно, что полученная в эксперименте зависимость отличается от ожидаемой. Для описания результатов приходится допускать, что поверхность зеркала описывается не прямоугольным потенциальным барьером, а барьером с некоторой плавной границей. Что это означает — наличие пленки другого вещества на поверхности, градиент химического состава или что-то иное — пока трудно сказать. Однако весьма вероятно, что обнаружен-

ная аномалия имеет прямое отношение к аномалии в величине времени хранения. Ведь речь идет об одном явлении — отражении нейтрона от границы вещества.

Хочется обратить внимание еще на одно обстоятельство. Энергетическое разрешение спектрометра Штайерла составляло величину  $3 \cdot 10^{-9}$  эВ, что достигнуто относительно простыми средствами. Есть основания надеяться, что возможен дальнейший прогресс в увеличении разрешающей способности спектрометров ультрахолодных нейтронов, и это позволит осу-

ществлять совершенно новые и, быть может, удивительные эксперименты. В качестве примера укажем на возможность экспериментального изучения некоторых квантовых явлений, возникающих при хранении ультрахолодных нейтронов на плоскости<sup>11</sup>.

При падении ультрахолодного нейтрона на горизонтальное зеркало он ведет себя подобно упругому шару, испытывая много тысяч соударений с плоскостью, прежде чем будет поглощен. При этом высота подскока зависит, конечно, от энергии нейтрона. Для энергии, например,



Интерференция и дифракция нейтронной волны. Вверху: интерференция при отражении нейтронов от тонкой пленки. В положение В гравитационного спектрометра (см. предыдущий рисунок) помещено стеклянное зеркало с нанесенной на него золотой пленкой толщиной  $(460 \pm 7)$  нм. Измерялась интенсивность отражения в зависимости от разности высот между входной щелью и пленкой. Внизу: в положении А спектрометра помещена отражающая дифракционная решетка с горизонтальными штрихами  $(1200 \text{ штрихов/мм})$ . При дифракции нейтронной волны меняется вертикальная скорость нейтрона. Приведена интенсивность счета в зависимости от высоты выходной щели относительно входной. Ясно видны дифракционные пики первого и нулевого порядка. Кривые внизу рисунка — ожидаемая по теории форма пиков.

Измеренная интенсивность отражения от стеклянного зеркала (точки) в сравнении с теоретической кривой для ступенчатой функции (сплошная линия) и для размытой ступенчатой функции, описывающей потенциальный барьер (пунктир). Измерения выполнены на том же гравитационном спектрометре, когда в положении В — стеклянное зеркало.

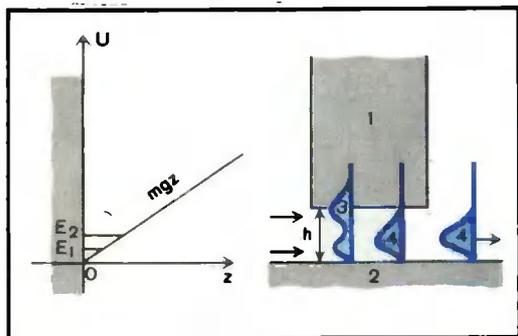
$10^{-8}$  эВ она составляет около 10 см. Поскольку длина волны нейтрона с такой энергией составляет 300 нм, классическое рассмотрение, которым мы пользовались выше, вполне справедливо. При уменьшении энергии высота подскока будет падать пропорционально квадрату скорости, а длина волны — расти обратно пропорционально скорости. Ясно, что когда длина волны станет сравнимой с высотой подскока, классическое рассмотрение становится неправомерным и нужен квантовый подход.

С квантовой точки зрения, задача описывается введением потенциальной ямы треугольной формы, два края которой соответствуют относительно большому потенциалу зеркала, с одной стороны, и гравитационному потенциалу — с другой. Нейтрон в такой яме будет, конечно, занимать

<sup>11</sup> Луциков В. И., Франк А. И. Письма в ЖЭТФ, 1978, т. 28, с. 607. См. также: Природа, 1979, № 9, с. 104.

некоторые дискретные энергетические уровни, положение которых легко рассчитать. Оказывается, что энергия нижнего уровня составляет  $1,4 \cdot 10^{-12}$  эВ. Как видим, если увеличить разрешение спектрометрических приборов в 1000 раз по сравнению с разрешением спектрометра Штайерла, такое явление квантования можно будет обнаружить экспериментально.

Можно подойти к этой проблеме и по-другому. Дело в том, что волновая функция нижнего состояния, определяющая вероятность нахождения нейтрона в данной точке пространства, локализована в обла-



Квантование по энергии при хранении ультрахолодных нейтронов на плоскости. Слева: эффективный потенциал при отражении нейтронов от горизонтальной поверхности. Треугольная потенциальная яма образована, с одной стороны, эффективным потенциалом вещества зеркала ( $z=0$ ), с другой стороны — гравитационным потенциалом  $mgz$ . Показаны два первых энергетических уровня при  $E_1 = 1,4 \cdot 10^{-12}$  эВ и  $E_2 = 2,45 \cdot 10^{-12}$  эВ. Справа: течение ультрахолодных нейтронов по горизонтальной плоскости. 1 — поглотитель, 2 — отражающая поверхность, 3 — распределение плотности нейтронов с энергией вертикального движения  $E_2$ . Высота щели  $H = 20$  мкм; 4 — распределение плотности нейтронов с энергией вертикального движения  $E_1$ .

ти порядка 20 мкм вблизи плоскости. Это значит, что нейтроны, находящиеся на первом квантовом уровне, не отрываются от зеркала на большое расстояние, а находятся в слое именно такой толщины. Следовательно, поставив некоторый поглотитель на соответствующие расстояния от зеркала, можно отделить нейтроны нижнего уровня от всех остальных.

Существенно, что потенциал треугольной формы можно также получить, помещая зеркало в неоднородное магнитное поле. При этом величина наклона правого края ямы может быть как существенно больше, так и меньше той, которая обра-

зована гравитационным полем. Манипулируя величиной градиента поля, можно изменять как энергию уровней, так и область локализации нейтронов, находящихся на этих уровнях.

## НЕЙТРОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Этот раздел опять следует начать с упоминания имени Э. Ферми. Именно он в одной из своих работ по нейтронной оптике заметил, что существование для нейтронной волны явления преломления позволяет, в принципе, создать нейтронные линзы и призмы. При этом, поскольку для большинства веществ  $b > 0$  и  $p < 1$ , выпуклая нейтронная линза будет рассеивающей. Из-за того что в распоряжении физиков в те времена были только тепловые нейтроны, для которых показатель преломления близок к единице, осуществление таких устройств казалось совершенно невозможным.

С развитием экспериментальной техники стали доступны более медленные — холодные нейтроны. При этом в различных нейтронных приборах постепенно стали применять нейтронные призмы, а совсем недавно и линзы. Углы преломления нейтронной волны при этом все еще весьма малы. Переход к еще более медленным нейтронам, для которых показатель преломления заметно отличен от единицы, по-иному ставит вопрос о создании нейтронно-оптических приборов, основанных на преломлении. А наличие полного отражения ультрахолодных нейтронов от границы вещества позволяет, в принципе, строить и зеркальные оптические системы. На возможность получения нейтронного изображения при отражении ультрахолодных нейтронов от вогнутого зеркала впервые обратил внимание И. М. Франк<sup>12</sup>. Он же предложил использовать этот метод получения нейтронного изображения для создания нейтронного микроскопа. Очень холодные и ультрахолодные нейтроны можно фокусировать также и с помощью магнитных линз.

Надо отметить, что все оптические системы, основанные на преломлении, будут обладать хроматическими aberrациями из-за того, что показатель преломления зависит, как мы видели, от длины волны. Зеркальные же системы сами по себе ахроматичны. Однако и в этом случае хромати-

<sup>12</sup> Франк И. М. Некоторые новые аспекты нейтронной оптики. — Природа, 1972, № 9, с. 24.

## Некоторые характеристики медленных нейтронов

| Нейтроны       | Энергия, эВ                         | Скорость, м/с | Длина волны, нм | Температура, К* |
|----------------|-------------------------------------|---------------|-----------------|-----------------|
| тепловые       | $10^{-1} - 5 \cdot 10^{-3}$         | 4500—1000     | 0,09—0,4        | 300             |
| холодные       | $5 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-4}$ | 1000—200      | 0,4—2           | 30              |
| очень холодные | $2 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-7}$ | 200—10        | 2—40            | 1               |
| ультрахолодные | $< 5 \cdot 10^{-7}$                 | $< 10$        | $> 40$          | $< 10^{-3}$     |

\* Приведенные значения температуры нейтронного газа соответствуют средней скорости данного интервала.

ческая абберрация все-таки возникает из-за сильного влияния на траекторию нейтронов силы тяжести Земли. Гравитационный хроматизм легко описать, рассматривая вакуум как оптически неоднородную среду. Такое рассмотрение позволяет рассчитывать нейтронно-оптические системы в присутствии гравитации<sup>13</sup>.

Обычный способ ахроматизации оптических приборов в оптике состоит в применении линз с различным коэффициентом преломления, а точнее с различной дисперсией. При этом, комбинируя вогнутые и выпуклые линзы, добиваются совпадения положений фокуса системы в целом для двух или даже трех длин волн. В случае нейтронно-оптической системы зеркала, помещенные на разной высоте, будут действовать как линзы с отличающимся коэффициентом преломления. Это обстоятельство дает возможность ахроматизировать многозеркальное нейтронное устройство.

Другой способ ахроматизации оптического элемента состоит в сочетании обычного вогнутого зеркала с фазовой дифракционной решеткой, выполненной в виде зонной пластинки<sup>14</sup>. В этом случае гравитационный хроматизм компенсируется хроматизмом, свойственным любому дифракционному устройству.

В обоих указанных случаях ахроматизация достигается для вполне определенной геометрии и может быть достаточно малой лишь в окрестности определенной скорости или длины волны нейтрона. Возможна ли более полная ахроматизация произвольной оптической системы? Думается, что да. Для этого нужно компенсировать силу тяжести, действующую на нейтрон, силой, которая действует в

неоднородном магнитном поле на магнитный момент нейтрона. Магнитная система для компенсации гравитации нейтрона в пространстве с размерами порядка 10 см вполне осуществима. Видимо, эти предложения будут осуществлены в ближайшее время.

Таким образом, сегодня как будто имеется некоторый выбор технических средств для трехмерной фокусировки очень медленных нейтронов и получения нейтронного изображения. Поэтому все чаще в печати обсуждается возможность создания и перспективы использования нейтронного микроскопа. Наиболее существенным препятствием на пути его создания является малая интенсивность существующих источников ультрахолодных нейтронов. Однако быстрый прогресс в этой области дает основания для оптимизма.

Какими же новыми свойствами может обладать такой прибор? Можно надеяться, что используя нейтроны с энергией, не очень сильно отличающейся от граничной энергии исследуемого объекта, удастся получить изображение с модуляцией яркости в зависимости от химического состава деталей объекта — химический контраст. Вполне вероятно, что достаточно сильный химический контраст можно получить при исследовании органических (биологических) объектов. Это связано с разным содержанием водорода в различных органических молекулах и с тем обстоятельством, что протоны, в отличие от большинства ядер, имеют отрицательную длину когерентного рассеяния. Поэтому величины граничных энергий для различных органических веществ, например для белков, отличаются весьма значительно.

Будет ли построен нейтронный микроскоп и будет ли он инструментом, дающим существенно новую информацию об объектах, покажет время. Автор склонен верить, что на оба вопроса будут получены положительные ответы.

<sup>13</sup> Франк И. М., Франк А. И. Письма в ЖЭТФ, т. 28, с. 559; Франк А. И. — Препринт ИАЭ — 3203, М., 1979.

<sup>14</sup> Shütz G., Steyerl A., Mamppe W. Phys. Rev. Lett., 1980, v. 44, p. 1400.

## Массовые зимовки птиц и китов в полыньях Берингова моря

**Л. С. Богословская,**  
кандидат биологических наук  
Институт эволюционной  
морфологии и экологии животных  
им. А. Н. Северцова АН СССР  
Москва

**Л. М. Ветровгов**  
Владивосток

Чукотский экспедиционный отряд Института эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова АН СССР с 1977 г. изучает особенности биологии и миграции морских млекопитающих и птиц Восточной Чукотки. Вероятно, мало кому известно, что в арктических морях есть места, которые не замерзают зимой даже в очень сильные морозы. О таких полыньях Берингова моря мы впервые узнали от охотников — эскимосов и чукчей, сообщающих нам сведения о миграциях гренландского и серого китов; много ценного рассказал об этих полыньях и капитан порта Провидения В. А. Беломестнов.

Зимой возле берингово-морского побережья Чукотки постоянно есть «окна» чистой воды у о-ва Аракамчечен, мысов Кригуйгун, Чаплина и в других местах. Самая обширная полынья тянется на десятки километров от входа в зал. Креста до м. Столетия. Мы назвали ее Сирениковской — по наименованию крупнейшего эскимосского поселка Сиреники, существующего на ее берегу уже около двух тысячелетий. Полыньи способствуют формированию в их окрестностях особого микроклимата, и потому все они являются районами концентрации ластоногих, китооб-



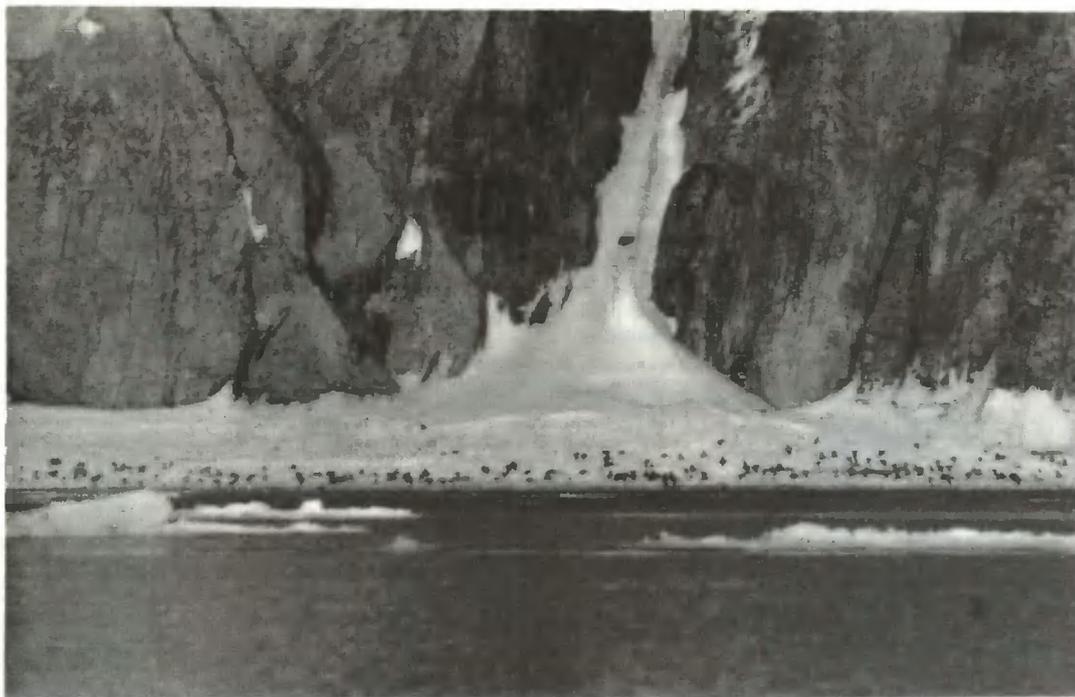
Северо-западная часть Берингова моря. Районы «открытой» воды заштрихованы.

разных и птиц. Не случайно знаменитая морская зверобойная культура азиатских эскимосов активно развивалась именно в центрах, расположенных у зимней открытой воды, — таких как Старое Чаплино, Сиреники, Эмелен, Нунлигран и др.

В апреле 1980 г. нам удалось осмотреть Сирениковскую полынью с воздуха и побывать в Сирениках на

морской охоте эскимосов. Собственные наблюдения многих зверобоев Чукотки, о которых они нам сообщили, позволили уяснить значение существующих пространств чистой воды для зимней жизни птиц и млекопитающих Берингова моря (надо отметить, что зимой на Чукотке практически никто из биологов не работал).

В районе пос. Сиреники мы наблюдали массовые скопления зимующих птиц, которые размещались на льдах, дрейфовавших в полынье, и на скалистых берегах, где летом находятся птичьи базары. Среди видов преобладала обыкновен-



Птицы, зимующие в Сирениковской полынье (Берингово море).

ная гага, достаточно многочисленными были серебристая чайка и моевка, в небольшом количестве отмечен беренгийский баклан, обнаружено пять особей вилохвостой чайки. На льдах, окаймляющих эту полынью, в марте (по сообщению зверобоя В. Тотыги) держатся большие стаи розовой чайки — одной из самых редких наших птиц, занесенной в «Красную Книгу СССР». По ориентировочным подсчетам, в Сирениковской полынье зимовало не менее сотни тысяч птиц. Крупные скопления обыкновенной гаги наблюдаются и у м. Чаплина.

Сирениковская полынья — постоянное место зимнего обитания небольшого стада гренландского кита. Киты не только держатся здесь всю зиму, но, по-видимому, и размножаются: в начале апреля зверобой во время охоты на ластоногих встречают их детенышей размером «в два

моржа». Киты активно передвигаются в полынье, порой собираются в определенных местах, например на мелководном участке против древнего селища Ангытыкук, где охотники нередко видят пары китов, играющих на расстоянии 100—200 м от берега. Подробные дневники зверобоя А. Анкалина за 1977—1980 гг. позволяют заключить, что осенью киты появляются в достаточно определенное время (как правило, в первой декаде ноября), причем ни шторма, ни сильные ветры и снегопады почти не влияют на сроки их массового хода. Весной гренландские киты уходят на север постепенно, иногда задерживаясь до половины июня. В 1980 г. первая большая группа мигрирующих животных, около 30 особей, подошла к Сиреникам 12 апреля. Большинство китов было детенышами. Около двух суток киты спокойно «стояли» напротив поселка, позволяя зверобоям вплотную подходить к некоторым из них на байдарках.

Интересно отметить, что полыньи служат своеобразными «опорными точками» ран-

него весеннего прилета морских птиц, а также миграции серых китов из Калифорнии к берегам Чукотки. Уже в середине апреля в полыньях начинается собираться множество перелетных видов пластинчатоклювых, чистиковых и чайковых птиц, ожидающих, когда освободятся от снега и льда места их гнездований. К Сиреникам и м. Чаплина устремляются первые серые киты, по всей вероятности, использующие Поперечное течение, которое идет в этом направлении от Алеутской гряды. В десятых числах мая, когда Анадырский залив и Берингов пролив еще забиты льдом, они уже приходят в полыньи, и в течение мая здесь можно одновременно наблюдать и серых и гренландских китов.

В заключение нужно сказать, что биология многих морских животных, обитающих в полыньях Берингова моря, — совершенно не изучена, а среди них есть особо редкие и охраняемые виды. В этом районе нашей страны необходимо провести специальные биологические исследования, опирающиеся на данные океанографии.



## Стронций-90 в биосфере

Э. Б. Тюрюканова



Энгельсина Борисовна Тюрюканова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР. Занимается вопросами биогеохимии и загрязнения окружающей среды радиоактивными веществами. Основные монографии: Радиогеохимия почв полей Русской равнины. М., 1974; Экология стронция-90 в почвах. М., 1976.

Проблема загрязнения окружающей среды радиоактивными веществами возникла в 50-е годы нашего века, когда в ряде стран начались мощные ядерные испытания. Тогда же начали исследовать поведение искусственных радиоактивных изотопов: поступление их в атмосферу, перенос и выпадение на земную поверхность, накопление в почвах и растениях, а также миграцию по пищевым цепям вплоть до организма человека. Многие из этих вопросов изучаются и в биогеохимической лаборатории нашего института, основанной В. И. Вернадским более 50 лет назад.

Взрывная волна и большое количество тепла, выделяющееся при ядерных испытаниях, приводят к тому, что продукты взрыва увлекаются в верхние слои атмосферы и скапливаются в тропосфере и стратосфере. Перераспределение продуктов взрыва зависит от его мощности, метеорологических условий и других факторов. Часть радиоактивных продуктов выпадает в районе испытаний. Основное же их количество переносится на большие расстояния, что приводит к распространению радиоактивных продуктов по поверхности всего земного шара. Глобальный перенос радиоактивных продуктов ядерных взрывов происходит в основном под влиянием широтных воздушных течений, нередко огибающих земной шар за несколько дней.

На земную поверхность радиоактивные вещества попадают главным образом с атмосферными осадками.

Может показаться, что искусственные радиоактивные вещества не представляют большой опасности, так как концентрации их незначительны и при попадании на Землю они рассеиваются в природных системах. Однако беда в том, что некоторые искусственные радиоактивные изотопы включаются в биогеохимические процессы и накапливаются в определенных звеньях биогеохимических цепей.

### СПЕЦИФИЧНОСТЬ ПОВЕДЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

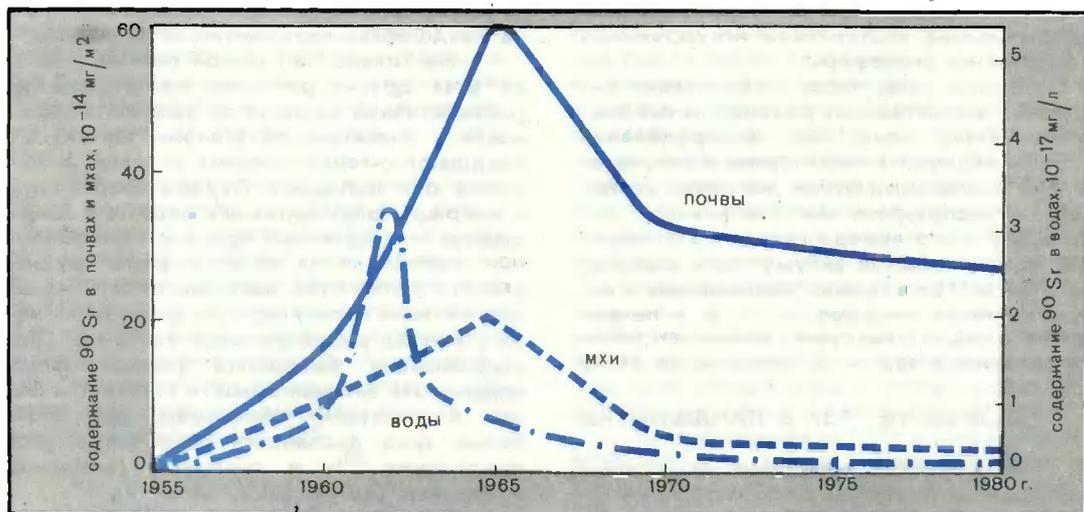
Среди всех известных нам искусственных радиоактивных изотопов особенно интересны  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ . Они характеризуются большим периодом полураспада (28 лет и 33 года соответственно), повышенной подвижностью в экологических цепях, а также способностью концентрироваться в костях и мышцах живых организмов.  $^{90}\text{Sr}$  накапливается в костях, замещая Са и стабильный Sr, а  $^{137}\text{Cs}$  — в мышцах, где он замещает К и стабильный Cs. Следовательно, именно  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  представляют наибольшую опасность для здоровья человека и животных.

Среднее содержание  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в природных объектах — почвах, водах, растениях и т. д. — значительно снизилось за последние годы<sup>1</sup>, и в настоящее время оно не превышает предельно допустимых норм. Тем не менее проблема загрязнения биосферы этими радиоактивными изотопами остается актуальной. И выявить потенциально опасные районы мы можем только в результате исследования биогеохимических особенностей поведения  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , лишь выяснив пути их миграции.

Особенности миграции и концентри-

держание химического аналога цезия — калия, а также стабильного цезия<sup>2</sup>.

Можно предположить, что поведение искусственных радиоактивных изотопов совпадает с поведением их стабильных аналогов — естественных компонентов природных объектов. В действительности это не совсем так. На примере  $^{90}\text{Sr}$  нам удалось обнаружить некоторые отличия в геохимическом поведении стабильного и радиоактивного изотопов стронция. Наиболее ярко они проявляются в период обильного поступления искусственных ра-



Содержание  $^{90}\text{Sr}$  в почвах, мхах и водах полесий Русской равнины.

рования радиоактивных изотопов определяются как природой изотопа, так и свойствами природных объектов. Например, разные виды живых организмов обладают разной способностью к концентрированию искусственных радиоактивных изотопов. Большое значение имеют условия окружающей среды, химический состав ее объектов и, в первую очередь, содержание нерадиоактивных элементов и стабильных изотопов с близкими свойствами. Для  $^{90}\text{Sr}$  важно содержание химического аналога стронция — кальция и стабильного стронция, для  $^{137}\text{Cs}$  решающим оказывается со-

держание радиоактивных изотопов из атмосферы. В это время  $^{90}\text{Sr}$  более подвижен в почвах и активнее поступает в растения, чем стабильный Sr. Кроме того, мы обнаружили разное распределение  $^{90}\text{Sr}$  и стабильного Sr в вертикальном почвенном разрезе.

Различия вызваны целым рядом причин. Большое значение имеет то обстоятельство, что искусственные радиоактивные изотопы поступают в почву из атмосферы, тогда как источником стабильного Sr служат почвообразующие породы. Но главным фактором, обуславливающим различие в поведении  $^{90}\text{Sr}$  и стабильного Sr, является разное время из взаимодействия с объектами окружающей среды: для ста-

<sup>1</sup> Произошло это в связи с прекращением в большинстве стран испытаний атомного оружия и подписанием в 1963 г. «Договора о запрещении испытаний ядерного оружия в атмосфере, космическом пространстве и под водой».

<sup>2</sup> Искусственный радиоактивный изотоп цезия ( $^{137}\text{Cs}$ ) менее подвижен в большинстве ландшафтов, поэтому дальше речь пойдет главным образом о  $^{90}\text{Sr}$ . Многие работы по подвижности  $^{137}\text{Cs}$  в лесных биогеоценозах были выполнены под руководством С. Ауэрбаха в Окриджской лаборатории (США), а в пищевых цепях — советскими специалистами А. Н. Мареем, П. В. Рамзаевым, А. А. Моисеевым и др.

бильного Sr — миллионы лет, для  $^{90}\text{Sr}$  — несколько десятилетий. Это определяет различие связей и форм нахождения.

С течением времени поведение  $^{90}\text{Sr}$  и стабильного Sr сближается. Так, нами установлено, что наблюдавшаяся в 60-е годы (т. е. в пору обильного поступления искусственных радиоактивных изотопов из атмосферы) отрицательная корреляционная зависимость между содержанием  $^{90}\text{Sr}$  и стабильного Sr в верхних горизонтах почв полей<sup>3</sup> сменилась в 70-е годы положительной. Данная зависимость свидетельствует об однотипности поведения  $^{90}\text{Sr}$  и стабильного Sr в почвах после снижения уровня поступления искусственных изотопов из атмосферы.

Кроме того, после стабилизации выпадения искусственных радиоактивных изотопов стало ясно, что распределение  $^{90}\text{Sr}$  на обширных территориях в результате его биогеохимической миграции совпадает с распределением стабильного Sr. В пользу этого вывода говорит соотношение коэффициентов аккумуляции стабильного Sr и  $^{90}\text{Sr}$  в почвах элювиальных и аккумулятивных ландшафтов, т. е. в почвах тех ландшафтов, которые связаны миграцией почвенных вод — сопряжены по стоку (см. табл.).

#### ПОВЕДЕНИЕ $^{90}\text{Sr}$ В ЛАНДШАФТАХ

Особенности поведения искусственных радиоактивных изотопов хорошо иллюстрируются судьбой  $^{90}\text{Sr}$  на территории

<sup>3</sup> Полесье — песчаная заболоченная равнина, занятая лесами.

Русской равнины, где природные условия весьма разнообразны. Содержание  $^{90}\text{Sr}$  в растениях, почвах и водах здесь возросло в период с 1950 по 1966 г. в связи с постоянным выпадением его из атмосферы. После 1966 г. содержание  $^{90}\text{Sr}$  уменьшалось, стабилизовавшись к началу 70-х годов.

При активном поступлении из атмосферы  $^{90}\text{Sr}$  был довольно равномерно распределен на территории отдельных почвенно-климатических зон Русской равнины. Однако уже в 1964 г. обнаружено его перераспределение в сопряженных по стоку ландшафтах и вторичное накопление  $^{90}\text{Sr}$  на ландшафтно-геохимических барьерах.

Не только на Русской равнине, но и во всех других регионах распределение радиоактивных веществ по земной поверхности в значительной степени зависит от ландшафтно-геохимических условий, в которые они попадают. Перераспределение и миграция радиоактивных веществ в ландшафтах — медленный процесс. При обильном выпадении их из атмосферы трудно уяснить какие-либо закономерности из-за постоянного нерегулярного добавления искусственных радиоактивных изотопов. При стабилизации выпадения радиоактивных осадков эти закономерности становятся более отчетливыми. Например, при этом более ярко проявились различия в распределении  $^{90}\text{Sr}$  в гумидных (влажных) и аридных (засушливых) областях.

В пространственном распределении  $^{90}\text{Sr}$  в гумидных областях значительную роль играют лесные болота. Как в период

Таблица

Распределение Sr и  $^{90}\text{Sr}$  в почвах, сопряженных по стоку ландшафтов (1970—1978 гг.)\*

| Зона                     | $^{90}\text{Sr}, 10^{-14} \text{ мг/м}^2$ |                |                         | Sr, мг/кг   |                |                         |
|--------------------------|---|----------------|-------------------------|-------------|----------------|-------------------------|
|                          | ландшафт                                  |                | коэффициент аккумуляции | ландшафт    |                | коэффициент аккумуляции |
|                          | элювиальный                               | аккумулятивный |                         | элювиальный | аккумулятивный |                         |
| лесная, моренные области | 45  | 70             | 1,5                     | 150         | 300            | 2,0                     |
| лесная, полесье          | 30  | 120            | 4,0                     | 90          | 600            | 6,6                     |
| лесостепная              | 58  | 55             | 0,9                     | 395         | 357            | 0,9                     |
| степная                  | 75  | 45             | 0,6                     | 500         | 300            | 0,6                     |
| сухостепная              | 60  | 40             | 0,7                     | 700         | 500            | 0,7                     |

\* Содержание  $^{90}\text{Sr}$  выражено в весовых единицах из расчета, что 1 кюри соответствует  $0,71 \cdot 10^9$  г.

активного поступления искусственных радиоактивных изотопов из атмосферы, так и при снижении их поступления в почвах замкнутых изолированных болот накапливался  $^{90}\text{Sr}$ , сносимый с поверхностным и внутрпочвенным стоком с окружающих территорий. На водоразделах же, характеризующихся элювиальным (промывным) режимом, содержание  $^{90}\text{Sr}$  в почвах, как правило, невысокое.

В поймах гумидных ландшафтов, так же как и в болотах, при активном поступлении искусственных радиоактивных изотопов проявляется тенденция к вторичному накоплению  $^{90}\text{Sr}$ . Его содержание в пойменных почвах меняется в широких пределах в зависимости от типа почв. Неизменным остается следующее: чем интенсивнее  $^{90}\text{Sr}$  удерживается в почвах водораздела, тем меньше он накапливается в почвах пойм.

Теперь перейдем к распределению  $^{90}\text{Sr}$  в аридных областях. Здесь этот радиоактивный изотоп прочно сорбируется в почвах водоразделов. Происходит это потому, что в аридных областях почвы водоразделов богаты карбонатами и гипсом, которые дают со  $^{90}\text{Sr}$  малоподвижные соединения. Вынос  $^{90}\text{Sr}$  с водоразделов незначительный. Пойменные же почвы в аридных областях, как правило, характеризуются невысоким содержанием  $^{90}\text{Sr}$ .

#### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ $^{90}\text{Sr}$ В РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Растительность является первым экраном, задерживающим выпадающие из атмосферы искусственные радиоактивные изотопы. При интенсивном поступлении  $^{90}\text{Sr}$  на поверхности зеленых растений задерживалось до 98% их количества. По отношению к этой величине доля поступления  $^{90}\text{Sr}$  из почв очень мала. При стабилизации выпадения радиоактивных осадков из атмосферы доля  $^{90}\text{Sr}$ , поступающего в растения из почв, резко возрастает (хотя по абсолютной величине и падает).

Аккумуляция искусственных радиоактивных изотопов растительностью зависит как от видовых особенностей растений, так и от условий их произрастания и физико-химических свойств почв. Например, одинаковые растения на малогумусных, песчаных и торфяных почвах усваивают больше  $^{90}\text{Sr}$  (так как в этих почвах  $^{90}\text{Sr}$  связан менее прочно), чем на обогащенных гумусом тяжелых почвах с высоким содержанием зольных элементов (где соединения  $^{90}\text{Sr}$  более прочны). В одно-

типных же местах обитания большее количество  $^{90}\text{Sr}$  усваивают те семейства растений, которые больше накапливают стабильного Sr (например, бобовые — больше, чем злаки). В озерах наибольшее количество  $^{90}\text{Sr}$  накапливают гидрофиты (водные растения), наименьшее — прибрежные растения.

Заметны различия в поведении  $^{90}\text{Sr}$  в хвойных и лиственных лесах. При активном выпадении искусственных радиоактивных изотопов почвы лиственных лесов характеризовались несколько большим содержанием  $^{90}\text{Sr}$ , чем почвы хвойных лесов ( $50 \cdot 10^{-14}$  и  $40 \cdot 10^{-14}$  мг/м<sup>2</sup> соответственно). Это объясняется тем, что хвоя каждый год целиком не опадает и задерживает значительное количество  $^{90}\text{Sr}$ , поступающего из атмосферы. В начальный период стабилизации картина изменилась, так как на поверхность почвы поступила хвоя, загрязненная при активном выпадении искусственных радиоактивных изотопов. При полной стабилизации выпадения их из атмосферы (после 70-го года) содержание  $^{90}\text{Sr}$  в почвах лиственных лесов стало больше, чем в почвах хвойных лесов. Дело в том, что в корневых системах и кронах лиственных пород  $^{90}\text{Sr}$  накапливается (впоследствии возвращаясь в почву с опадом), а из почв хвойных лесов — выносятся.

В распределении  $^{90}\text{Sr}$  в почвах лесов большую роль играет моховый покров и лесная подстилка. Моховый покров (в период активного выпадения) задерживает 90—100% поступающего  $^{90}\text{Sr}$ , а при снижении выпадений доля задерживаемого им  $^{90}\text{Sr}$  уменьшается. Однако и в период стабилизации выпадения искусственных радиоактивных изотопов лишайники и полухарактеристики (черника, брусника и др.) характеризовались более высоким содержанием  $^{90}\text{Sr}$ , чем травянистая растительность ( $4,5 \cdot 10^{-14}$  и  $2,1 \cdot 10^{-14}$  мг/м<sup>2</sup> соответственно). По-видимому, это связано с остаточной радиоактивностью, накопленной многолетними растениями в период активных выпадений.

Лесная подстилка, находящаяся на поверхности почвы, — это второй экран, который задерживает поступающий из атмосферы  $^{90}\text{Sr}$ . Накопление его в лесной подстилке зависит от особенностей опада и способности его к разложению. При активном выпадении  $^{90}\text{Sr}$  из атмосферы рыхлые подстилки хвойных лесов характеризовались меньшим его содержанием, чем подстилки лиственных лесов, так как  $^{90}\text{Sr}$  накапливался в разложившихся горизонтах хвойной подстилки. В начале периода ста-

билизации картина изменилась: содержание  $^{90}\text{Sr}$  в рыхлых подстилках хвойных лесов стало большим, чем в листовых подстилках, в связи с поступлением загрязненной, ранее не опадавшей хвои. При значительном снижении количества радиоактивных осадков в подстилках листовых, особенно березовых лесов, содержание  $^{90}\text{Sr}$  стало вновь больше, чем в хвойных, так как в хвойных подстилках образуются агрессивные органические кислоты, дающие со  $^{90}\text{Sr}$  подвижные соединения.

Накоплению  $^{90}\text{Sr}$  в почвах и снижению выноса способствует лесная травянистая растительность, удерживающая в корневых системах до 90% содержащегося в почве  $^{90}\text{Sr}$ . Почвы лесных травянистых лужаек характеризуются повышенным содержанием  $^{90}\text{Sr}$  по сравнению с окружающей территорией, занятой древесными породами ( $50 \cdot 10^{-14}$  и  $30 \cdot 10^{-14}$  мг/м<sup>2</sup> соответственно).

Итак, можно еще раз подчеркнуть, что концентрация искусственных радиоактивных изотопов в растениях определяется их систематическими особенностями и условиями произрастания.

### ВОВЛЕЧЕНИЕ $^{90}\text{Sr}$ В БИОЛОГИЧЕСКИЙ КРУГОВОРОТ

Количество вовлеченного в биологический круговорот  $^{90}\text{Sr}$  зависит от особенностей растительности и почвенного покрова. Например, лесная растительность на малогумусных подзолистых песчаных почвах вовлекает в биологический круговорот большее количество  $^{90}\text{Sr}$ , чем на более гумусных дерново-подзолистых суглинистых почвах ( $18 \cdot 10^{-14}$  и  $7 \cdot 10^{-14}$  мг/м<sup>2</sup> соответственно). Наряду с этим на однотипных почвах в березовых лесах вовлечено в биологический круговорот больше  $^{90}\text{Sr}$ , чем в сосновых ( $23 \cdot 10^{-14}$  и  $13 \cdot 10^{-14}$  мг/м<sup>2</sup> соответственно).

В лесах при активном выпадении искусственных радиоактивных изотопов из атмосферы часть  $^{90}\text{Sr}$  выносилась за пределы наиболее насыщенного корнями слоя почвы, замкнутость биологического круговорота нарушалась. При стабилизации поступления искусственных радиоактивных изотопов из атмосферы значительное количество  $^{90}\text{Sr}$  удерживалось растительностью, лесной подстилкой и гумусовым горизонтом за счет активного поглощения его корневыми системами, вынос же был невелик.

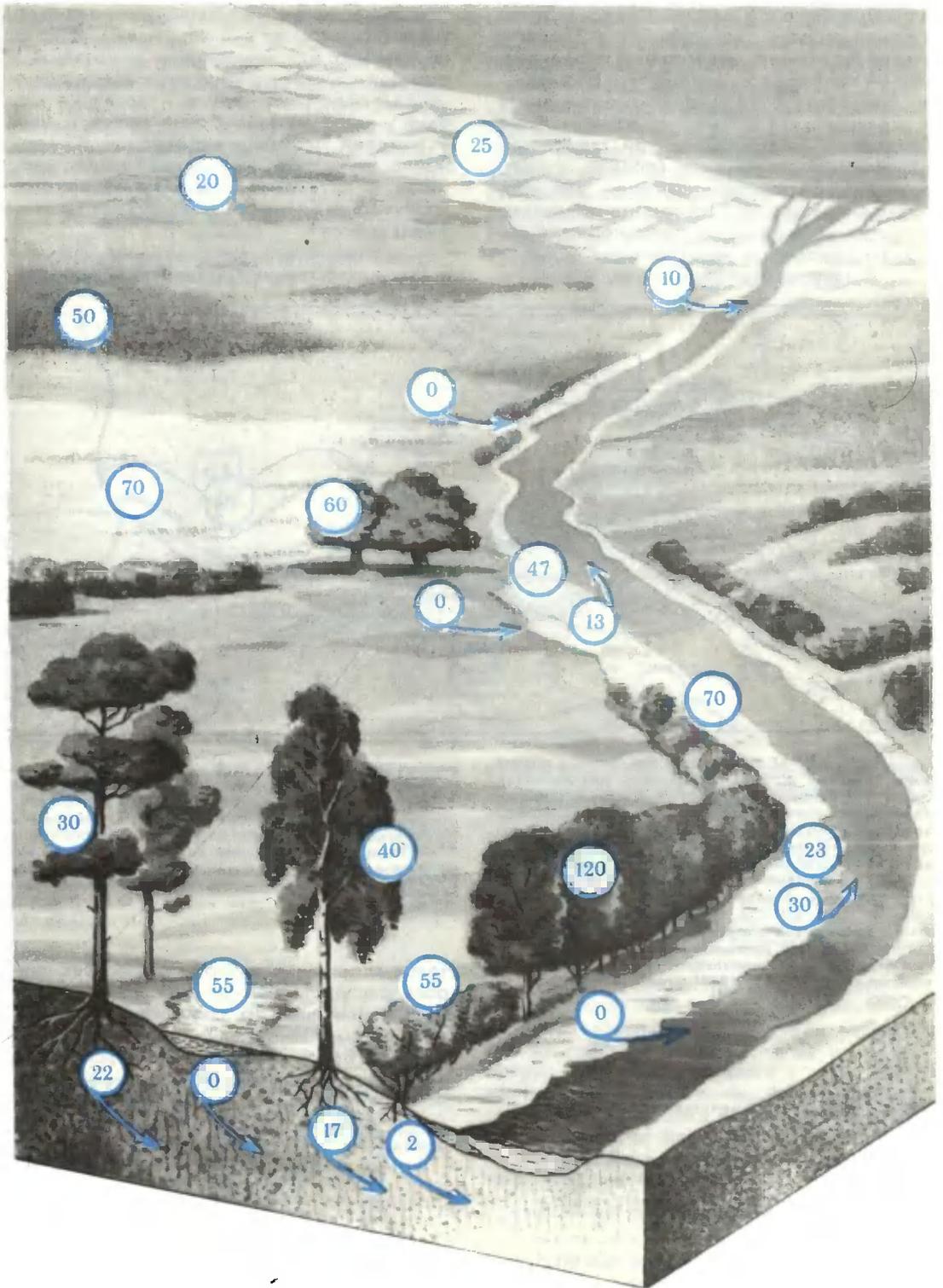
В поймах рек в биологический круговорот вовлечено меньше количества  $^{90}\text{Sr}$ , чем в лесах (2 и 30% от содержания в почвах). Исключение составляют пойменные болота, где в биологический круговорот вовлекается до 20% содержащегося в почвах  $^{90}\text{Sr}$ . При этом в осоковых болотах на торфах в биологический круговорот вовлекается больше  $^{90}\text{Sr}$ , чем на злаковых лугах ( $8 \cdot 10^{-14}$  и  $1 \cdot 10^{-14}$  мг/м<sup>2</sup>).

Сопоставляя количество  $^{90}\text{Sr}$ , вовлеченного в биологический круговорот в лесных и травянистых биогеоценозах, мы обнаружили, что в лесных биогеоценозах, как правило, вовлечено в биологический круговорот больше  $^{90}\text{Sr}$ , чем в травянистых. Это обусловлено не только величиной органической массы растительности, но и особенностями почвенного покрова. В тех случаях, когда леса формируются на сравнительно богатых зольными элементами и гумусом почвах (например, дубовые и ольховые леса на серых лесных и перегнойно-глеевых почвах), в биологический круговорот вовлекается меньшее количество  $^{90}\text{Sr}$ , чем в сосновых лесах на подзолистых песчаных почвах (12 и 35% от содержания  $^{90}\text{Sr}$  в почвах). Это обусловлено тем, что богатые почвы прочнее удерживают  $^{90}\text{Sr}$ , а бедные — отдают.

В травянистых экосистемах (лугах, болотах, степях) на обедненных почвах вовлечено в биологический круговорот больше  $^{90}\text{Sr}$ , чем на обогащенных почвах (20 и 1,5% от содержания в почвах).

Таким образом, в тех случаях, когда почва слабо задерживает искусственные радиоактивные изотопы, создается их запас в живом веществе. В травянистых экосистемах  $^{90}\text{Sr}$  удерживается путем аккумуляции в почве, в лесных — за счет по-

**Схема распределения  $^{90}\text{Sr}$  в почвенно-растительном покрове и выноса его грунтовыми водами в лесной, лесостепной и степной зонах.** Цифрами показано содержание  $^{90}\text{Sr}$  в  $10^{-14}$  мг/м<sup>2</sup>. Стрелки обозначают вынос  $^{90}\text{Sr}$  из почвенно-растительного покрова. В лесной зоне выносятся из почвенно-растительного покрова сосновых [22] и березовых [17] лесов, накапливаясь в ольховых притеррасных болотах [120] и луговых пойменных почвах [70]. Из водораздельных болот он практически не выносятся [0]. В лесостепной и степной зонах  $^{90}\text{Sr}$  накапливается в черноземных почвах [70] и серых лесных почвах дубрав [60]. Значительные количества его выносятся из каштановых почв и солончаков и накапливаются в почвах крупных понижений — подов [50].

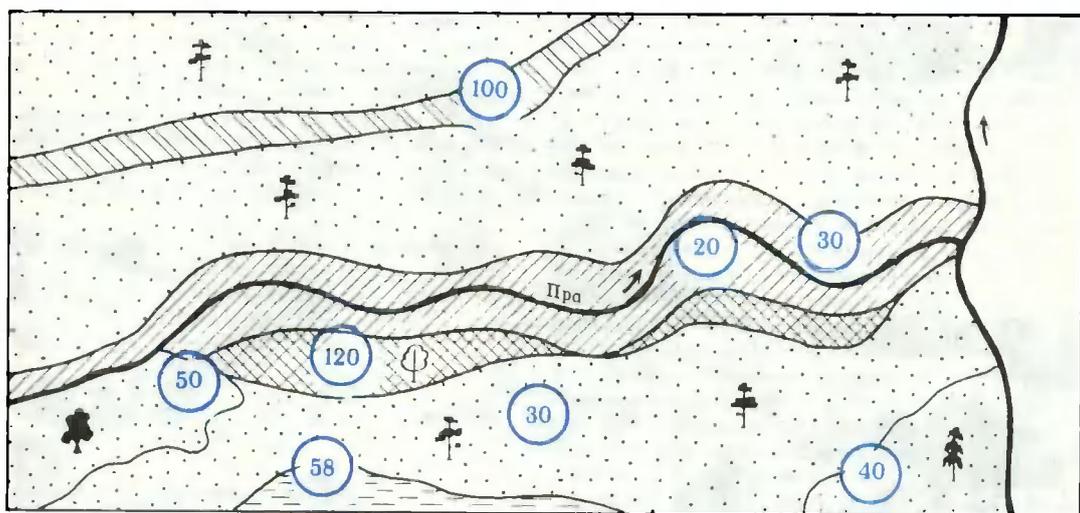


глощения зеленой массой. Следовательно, с одной стороны, вовлеченные в биологический круговорот искусственные радиоактивные изотопы консервируются растительностью лесов и частично с опадом вновь возвращаются в почвы, не отторгаясь из природных систем. С другой стороны, в травянистых экосистемах (поймах, степях, агроценозах) ежегодно с сеном или урожаем они удаляются из природных систем и поступают в пищевые цепи, корма, в организм человека и животных.

В районах Крайнего Севера повышен-

ное содержание искусственных радиоактивных изотопов в мхах и лишайниках обусловило их накопление в организме оленей, и в связи с этим внутреннее облучение отдельных групп населения на один — два порядка более высокое, чем у жителей центральных районов. Содержание искусственных радиоактивных изотопов в организме оленей регулируется количеством мхов в рационе; летом оно уменьшается<sup>4</sup>.

Повышенная миграционная способность искусственных радиоактивных изо-



Распределение  $^{90}\text{Sr}$  в полесских ландшафтах лесной зоны (бассейн р. Пра, Мещерская низменность). Здесь хорошо выражены области вторичного накопления радиоактивных изотопов.  $^{90}\text{Sr}$  выносятся из подзолистых песчаных почв водоразделов (где его содержание составляет  $30 \cdot 10^{-14}$  мг/м<sup>2</sup>) и накапливается в области притеррасного болота с перегнойно-глебовым почвами, образующими ландшафтно-геохимический барьер (содержание  $^{90}\text{Sr}$  —  $120 \cdot 10^{-14}$  мг/м<sup>2</sup>).  $^{90}\text{Sr}$  накапливается также в торфяных почвах изолированных водораздельных болот ( $58 \cdot 10^{-14}$  мг/м<sup>2</sup>), являющихся приемниками стоковых вод, и в железисто-глебовых почвах у подножий пологих склонов [ $100 \cdot 10^{-14}$  мг/м<sup>2</sup>].

Почва:

-  дерново-подзолистая (сосновый лес)
-  дерново-подзолистая (березовый лес)
-  дерново-подзолистая (дубовый лес)
-  торфяная (изолированное болото)

-  железисто-глебовая (подножие склона)
-  перегнойно-глебовая (притеррасное болото)
-  дерново-глебовая (пойма)

топов в песчаных и торфяных почвах, широко распространенных в полесьях, привела к увеличению их содержания в растительности, организмах животных и у населения. В Белорусском полесье были выделены биогеохимические провинции, среднегодовые популяционные дозы облучения в которых в 2,5 раза выше, чем в соседних<sup>5</sup>.

Из вышесказанного следует, что ин-

<sup>4</sup> Моисеев А. А., Рамзаев П. В. Цезий-137 в биосфере. М., 1975.

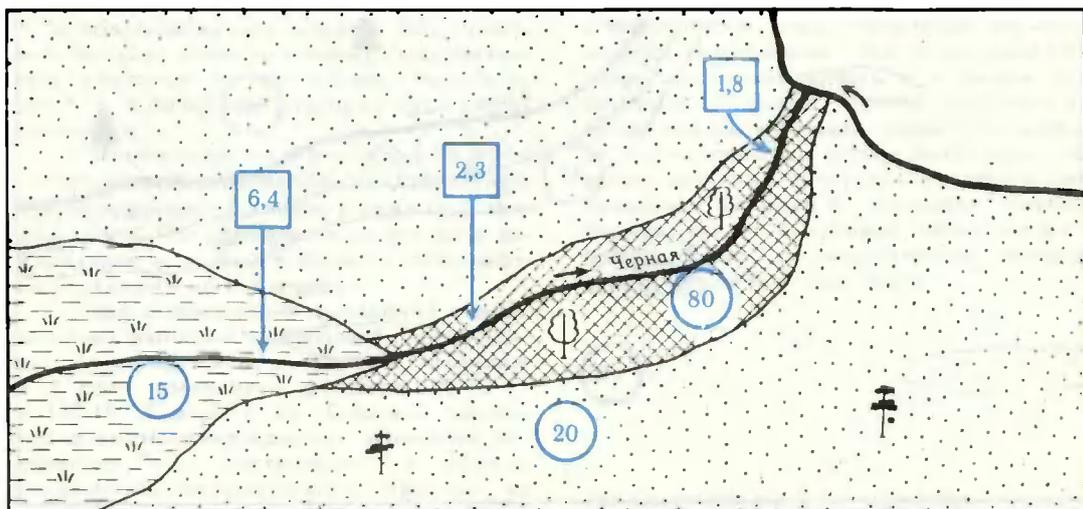
<sup>5</sup> Марей А. Н., Бархударов Р. М., Новикова Н. Я. Глобальные выпадения цезия-137 и человек. М., 1974.

тенсивность поступления искусственных радиоактивных изотопов в организм человека и животных в значительной степени регулируется звеном биогеохимической цепи почва — растение. Поступление искусственных радиоактивных изотопов в растительность и растительные корма зависит от физико-химических особенностей почв.

### МИГРАЦИЯ $^{90}\text{Sr}$ В ПОЧВАХ

Искусственные радиоактивные изотопы попадают из атмосферы в самую актив-

ную часть почв — гумусовый горизонт, насыщенный микроорганизмами и переплетенный корнями растений.  $^{90}\text{Sr}$  поступает в почвенно-растительный покров в основном в водно-растворимом виде<sup>6</sup>. Скорость вертикальной миграции  $^{90}\text{Sr}$  и самоочищение почв определяется как количеством радиоактивных осадков, так и физико-химическими свойствами почв. При активном выпадении искусственных радиоактивных изотопов из атмосферы наблюдалось накопление  $^{90}\text{Sr}$  на поверхности почв, возрастающее во времени. Вертикальное пе-



Изменение содержания  $^{90}\text{Sr}$  в водах реки в зависимости от обстановки на водоразделе и в пойме. Концентрация  $^{90}\text{Sr}$  уменьшается от верховья к устью реки в связи с изменением почвенного покрова поймы. Наибольшее количество его ( $6,4 \cdot 10^{-17}$  мг/л) выносится в реку там, где она дренирует сфагновое болото. В нижнем течении реки  $^{90}\text{Sr}$  аккумулируется перегнойно-глеевыми почвами ольхового болота ( $80 \cdot 10^{-14}$  мг/м<sup>2</sup>); вынос его в реку небольшой ( $1,8 \cdot 10^{-17}$  мг/л).

Почва:

-  дерново-подзолистая (сосновый лес)
-  торфяная (проточное болото)
-  перегнойно-глеевая (притеррасное болото)

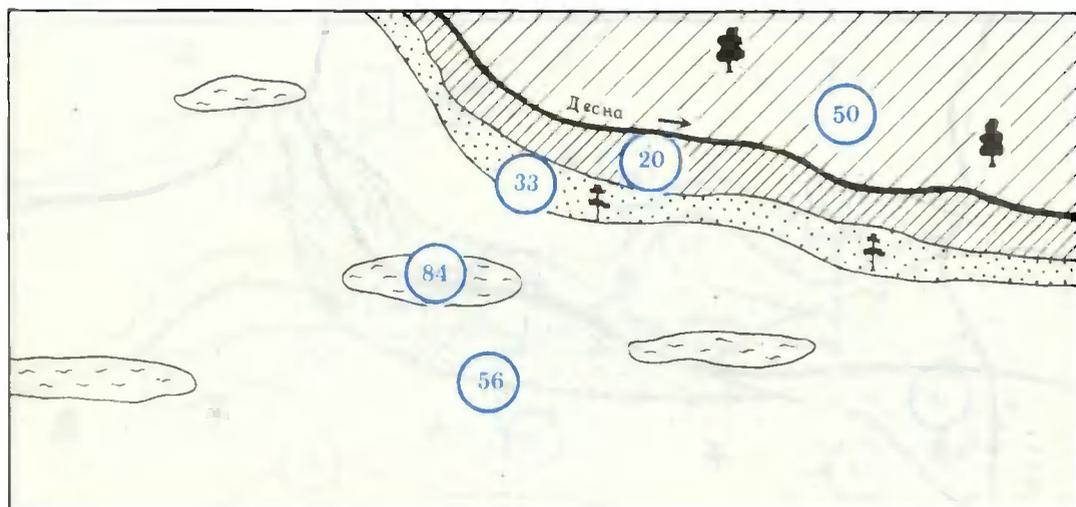
ремещение  $^{90}\text{Sr}$  в глубь почв заметное, но темп накопления их на поверхности превосходит темп вертикального перемещения. При снижении уровня радиоактивных осадков закономерности вертикальной миграции  $^{90}\text{Sr}$  проявляются более отчетливо. Мы установили, что вертикальное перемещение  $^{90}\text{Sr}$  зависит от количества атмосферных осадков, биологической активности и физико-химических свойств почв. Наибольшая скорость вертикального перемещения наблюдалась в начальный период стабилизации выпадения искусственных радиоактивных изотопов из атмосферы, когда с поверхности в глубь подзолистой супесчаной почвы было вынесено до 25% поступившего из атмосферы  $^{90}\text{Sr}$ . В последующем передвижение  $^{90}\text{Sr}$  стабилизировалось, количество перемещенного  $^{90}\text{Sr}$  стало соизмеримо с вовлекаемым в биологический круговорот.

<sup>6</sup> Павлоцкая Ф. И. Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах, М., 1974.

Особенности вертикального перемещения  $^{90}\text{Sr}$  дали основание для разделения почв на пять групп: первая группа характеризуется постоянным выносом  $^{90}\text{Sr}$  из почв в подстилающие породы (элювиальные почвы); вторая — биологическим накоплением; третья — временным накоплением  $^{90}\text{Sr}$  в горизонте вымывания на глубине 40—50 см; четвертая — накоплением на поверхности за счет аллювиальных (речных) наносов; пятая — импульсным делювиально-иллювиальным накоплением за счет поступления  $^{90}\text{Sr}$  с поверхностным и

внутрипочвенным стоком. Помимо научных целей, эта классификация применима для выявления потенциально опасных зон (т. е. зон вторичного накопления  $^{90}\text{Sr}$ ) и зон, способных к самоочищению, а также может использоваться при решении проблемы захоронения радиоактивных отходов.

Почвенные микроорганизмы в миграции искусственных радиоактивных изотопов и концентрировании их растениями играют двойную роль. С одной стороны, перерабатывая органические остатки, они увеличивают подвижность искусственных



Распределение  $^{90}\text{Sr}$  в ландшафтах ополья.  $^{90}\text{Sr}$  прочно удерживается в суглинистых почвах на водоразделах, где его содержание достигает  $50\text{--}560 \cdot 10^{-14}$  мг/м<sup>2</sup>. В дерново-глебовых почвах пойм и подзолистых почвах боровых террас содержание  $^{90}\text{Sr}$  невысокое ( $20 \cdot 10^{-14}$  и  $30 \cdot 10^{-14}$  мг/м<sup>2</sup> соответственно). Вторичное накопление  $^{90}\text{Sr}$  ( $84 \cdot 10^{-14}$  мг/м<sup>2</sup>) обнаружено в темноцветных почвах понижений, часто встречающихся среди распаханных территорий.

радиоактивных изотопов, накопление их растениями и вынос. С другой стороны, почвенные микроорганизмы способствуют концентрации радиоактивных изотопов в почвах за счет аккумуляции их клетками. Например, М. Виткам<sup>7</sup> пришел к выводу, что до 60%  $^{137}\text{Cs}$ , поступающего из атмосферы, аккумулируется микроорганизмами в период наибольшего их размножения.

Почва:

-  дерново-подзолистая (сосновый лес)
-  дерново-глебовая (пойма)
-  суглинистая (дубовый лес)
-  темноцветная (понижение среди пахоты)
-  серая лесная (пахота)

#### ВОДНАЯ МИГРАЦИЯ $^{90}\text{Sr}$

Передвигающийся по вертикальному почвенному профилю  $^{90}\text{Sr}$  перераспределяется в зависимости от физико-химических свойств и строения почв. Наибольшее количество  $^{90}\text{Sr}$  задерживается в самом верхнем горизонте, а вторичное его накопление обнаружено в иллювиальном горизонте на глубине 30—40 см. Часть

<sup>7</sup> Witkamp M., Barazansky B. Microbial immobilization of Cs in forest litter. — Oikos, 1968, v. 19.

$^{90}\text{Sr}$  выносятся из почвы, рассеиваясь в подстилающих почвах породах.

С течением времени рассеянный в породах  $^{90}\text{Sr}$  поступает в почвенно-грунтовые воды. Вынос  $^{90}\text{Sr}$  этими водами зависит от особенностей почвенного покрова, глубины залегания почвенно-грунтовых вод и гидрологического режима. При неглубоком залегании почвенно-грунтовые воды постоянно снабжаются искусственными радиоактивными изотопами. Наибольшее количество  $^{90}\text{Sr}$  выносятся из почв, где  $^{90}\text{Sr}$  подвижен, например из торфяных и подзолистых песчаных почв хвойных лесов. Из серых лесных и черноземных глинистых почв  $^{90}\text{Sr}$  практически не выносятся. При снижении выпадения искусственных радиоактивных изотопов из атмосферы поступление  $^{90}\text{Sr}$  в почвенно-грунтовые воды резко снижается.

Вынесенный из почв водоразделов и поступивший в почвенно-грунтовые воды  $^{90}\text{Sr}$  передвигается вместе с водами к поймам. Часть  $^{90}\text{Sr}$  осаждается на контакте водораздела и поймы в области ландшафтно-геохимического барьера.

При стабилизации выпадения радиоактивных изотопов содержание  $^{90}\text{Sr}$  в почвах ландшафтно-геохимических барьеров в 4 раза превышало фоновое ( $30 \cdot 10^{-14}$  и  $120 \cdot 10^{-14}$  мг/м<sup>2</sup>). За 10-летний период после запрещения ядерных испытаний количество  $^{90}\text{Sr}$ , поступившего в область ландшафтно-геохимического барьера за счет водной миграции, сфизмеримо с вынесенным из ландшафтов водоразделов.

Поступление  $^{90}\text{Sr}$  в реки определяется в значительной степени особенностями ландшафтов как на водоразделах, так и в поймах. Например, в верховьях одной из полесских рек, где она протекает через сфагновое болото, поступление  $^{90}\text{Sr}$  в воды реки наибольшее, так как торфяные болотные почвы слабо задерживают искусственные радиоактивные изотопы. В низовьях реки, занятых ольховым болотом, поступление  $^{90}\text{Sr}$  в воды реки уменьшается, поскольку основное его количество задерживалось в перегнойных почвах. Следовательно, чем сильнее искусственный радиоактивный изотоп задерживается в почвах водосбора, тем меньше его выносятся в реки.



Таким образом, многолетние исследования поведения  $^{90}\text{Sr}$  на территории Русской равнины позволили установить, по каким путям осуществляется биогеохимическая миграция искусственных радиоак-

тивных изотопов, как формируются ландшафтно-геохимические барьеры — зоны их вторичного накопления, с какой интенсивностью искусственные радиоактивные изотопы вовлекаются в биологический круговорот. Одним из важнейших результатов работы можно также считать возможность прогнозировать, какие территории будут максимально загрязнены искусственными радиоактивными изотопами (в случае поступления новых их порций в почву и растительность), а какие сохранят способность к самоочищению.

Нужно еще раз подчеркнуть, что за последние годы, в связи с прекращением в большинстве стран испытаний атомного оружия, содержание  $^{90}\text{Sr}$  в природных объектах стабилизировалось и в целом значительно снизилось. Однако проблема загрязнения окружающей среды этим радиоактивным изотопом может быть снята с повестки дня лишь при условии полного прекращения испытаний атомного оружия. Именно за это выступают наши партия и правительство, последовательно проводя ленинскую программу мира.

#### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Павлоцкая Ф. И., Тюрюканова Э. Б., Баранов В. И. ГЛОБАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОАКТИВНОГО СТРОНЦИЯ ПО ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ. М., 1970.

Тихомиров Ф. А. ДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ. М., 1972.

Гулякин И. В., Юдинцева Е. В. СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ РАДИОБИОЛОГИЯ. М., 1973.

Ильенко А. И. КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ ЖИВОТНЫМИ РАДИОИЗОТОПОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПОПУЛЯЦИЮ. М., 1974.

Куликов Н. В., Молчанова И. В. КОНТИНЕНТАЛЬНАЯ РАДИОЭКОЛОГИЯ. Почвенные и пресноводные экосистемы. М., 1975.

Кузин А. М. НЕВИДИМЫЕ ЛУЧИ ВОКРУГ НАС. М., 1980.

## Последний замысел Эйнштейна: объединение фундаментальных взаимодействий и свойств пространства — времени

А. Салам



Абдус Салам, директор Международного центра теоретической физики в Триесте (Италия). Один из создателей единой теории слабых и электромагнитных взаимодействий, автор многочисленных работ по квантовой электродинамике, физике элементарных частиц и теории гравитации. Иностраный член АН СССР, член Лондонского королевского общества и ряда академий наук. Лауреат Нобелевской премии.

С древнейших времен люди стремились постичь всю сложность природы, используя как можно меньше обобщающих понятий. С этой точки зрения, в истории физики в одном ряду стоят три имени: Ньютона, Максвелла и Эйнштейна — ученых, которые достигли наибольших успехов в унификации законов природы.

Три столетия назад Ньютон отождествил и объединил земное тяготение (силу, заставляющую падать яблоки) и небесную гравитацию (силу, которая удерживает планеты на орбитах вокруг Солнца).

Спустя два столетия Максвелл объединил силы электричества и магнетизма. В дальнейшем он показал, что свет — одно из проявлений их единства.

В 1905 г. Эйнштейн объединил понятия пространства и времени. Одиннадцатью годами позже он сумел показать, что ньютоновская гравитация есть проявление этого смелого объединения, в том смысле, что ньютоновская гравитация означает наличие кривизны у единого пространственно-временного многообразия. Затем Эйнштейн

задался вопросом, нельзя ли объединить электромагнетизм Максвелла с ньютоновской гравитацией — таким же образом, как Максвелл объединил электричество и магнетизм? Если да, то можно попытаться представить электромагнетизм Максвелла тоже как проявление еще каких-либо геометрических свойств пространства — времени, подобно тому как ньютоновская гравитация есть проявление его кривизны. Это и был последний замысел Эйнштейна, о котором я хотел бы рассказать. Оказалось, что этот замысел очень плодотворен, и прогресс, который достигнут в его осуществлении, я уверен, обрадовал бы Эйнштейна.

### ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКЕ

Для начала подытожим все, что мы знали к середине 30-х годов о тех «блоках», из которых построено все вещество во Вселенной, и о силах, которые управляют его поведением. Я воздержусь от введения таких понятий, которые не относятся к теме этой статьи. Формулируя наиболее просто, можно сказать, что, по существу, все вещество, которое мы наблюдаем, состоит из четырех составных блоков — четырех основных частиц. Это две ядерные частицы: протон (p) и нейтрон (n) и две так называемые

<sup>1</sup> В основу статьи положен присланный автором в редакцию «Природы» доклад, который был сделан им 9 мая 1979 г. в Париже на торжествах, проведенных ЮНЕСКО в честь столетия А. Эйнштейна.

мые легкие частицы: электрон ( $e$ ) и нейтрино ( $\nu$ ). Существуют четыре основных силы, определяющие поведение этих частиц, когда они оказываются близко одна к другой.

**Сила тяготения.** Все четыре частицы ( $p$ ,  $n$ ,  $e$ ,  $\nu$ ) притягиваются друг к другу с силой, пропорциональной их массам. Это взаимодействие, которое обуславливает поведение планет, звезд, галактик и определяет основные черты Вселенной, в которой мы живем.

**Электромагнитные силы.** Две из четырех названных частиц — протон и электрон — несут электрический заряд. Две другие частицы электрически нейтральны. Протоны притягивают электроны с силой, пропорциональной электрическим зарядам взаимодействующих частиц. Именно эта сила ответственна за то, что атомы существуют как целое, и она, в основном, обуславливает все известные явления жизни на Земле.

**Слабые ядерные силы.** Все частицы —  $p$ ,  $n$ ,  $e$ ,  $\nu$  — взаимодействуют также посредством слабых ядерных сил при условии, что они удалены друг от друга не более чем на  $10^{-10}$  см, и, кроме того, находятся в состоянии с левой поляризацией. Это взаимодействие было открыто в начале века; оно вызывает явление, известное, как  $\beta$ -радиоактивность, и, в принципе, ответственно за существование тяжелых элементов на Земле и в других областях Вселенной.

**Сильные ядерные силы.** Протоны и нейтроны несут сильный ядерный заряд (в дополнение к слабому ядерному заряду). Эти частицы сильно притягиваются друг к другу, если находятся ближе, чем на расстоянии  $10^{-13}$  см. Сильное взаимодействие связывает вместе протоны и нейтроны в ядрах гелия, лития, бериллия, углерода, урана и др. Такие явления, как термоядерный синтез, благодаря которому светит Солнце, и деление ядер, происходящее в современных ядерных реакторах, — различные проявления этого взаимодействия.

Данная здесь картина четырех основных элементов материи и четырех основных взаимодействий между ними представляется чрезвычайно экономной с точки зрения числа использованных для ее создания понятий. Но даже этого недостаточно для физиков. Они надеются объединить, унифицировать эти четыре взаимодействия так, что все силы окажутся разными гранями единого фундаментального взаимодействия.

Эйнштейн, однако, попытался пойти дальше; он хотел представить это единое

взаимодействие — в предположении, что оно существует — как некое геометрическое свойство пространства — времени, в котором мы живем. Если это так, то из унификации взаимодействий и их связи со свойствами пространственно-временной структуры, конечно, будут вытекать наблюдаемые на опыте следствия.

Что в действительности означает понятие унификации сил, можно проиллюстрировать кратким историческим обзором.

## ИСТОРИЯ ИДЕЙ ОБЪЕДИНЕНИЯ В ФИЗИКЕ

Мы начнем с мусульманского ученого Бируни (XI в.) и Галилея (XVI—XVII вв.): они утверждали, что законы физики, открытые здесь, на Земле, справедливы и для явлений, происходящих где бы то ни было во Вселенной. Галилей, в частности, сделал эту концепцию более определенной своими наблюдениями гор на поверхности Луны. Сейчас эта вера в единство природы лежит в основе всей науки.

Ньютон, родившийся в год смерти Галилея, дал его идеям количественную интерпретацию, сформулировав около 300 лет назад закон всемирного тяготения. В частности, он количественно продемонстрировал, что сила земного тяготения, управляющая падающими на Землю телами, идентична небесной гравитации — силе, которая удерживает планеты на орбитах вокруг Солнца.

Через 150 лет после Ньютона Фарадей и Ампер показали, что магнитные силы порождаются движущимися электрическими зарядами. Это было началом объединения двух казавшихся до того совершенно различными сил природы: электричества и магнетизма.

Работа Фарадея была блестяще завершена Максвеллом, 100 лет со дня смерти которого исполнилось в ноябре 1979 г. Он показал, что следствием единства электричества и магнетизма должно быть электромагнитное излучение ускоренно движущихся электрических зарядов. Тепловое излучение, свет, радио- и рентгеновские лучи — не что иное, как различные проявления электромагнитного взаимодействия.

50 лет спустя, благодаря исследованиям Гейзенберга, Шредингера и Дирака, стало ясно, что химические силы, и в том числе силы, управляющие жизнью вообще и деятельностью мозга в частности, также

очередное проявление электромагнетизма, но уже на квантовом уровне.

В 1905 г. Эйнштейн объединил понятия пространства и времени. В 1906 г., пытаясь на этой основе еще дальше развить идеи унификации, он обнаружил, что ньютоновская гравитация есть проявление кривизны пространственно-временного многообразия. Это смелое представление о пространстве — времени, наделенном динамическими свойствами, привело к выдающимся успехам в космологии: предсказанию, с одной стороны, расширения Вселенной (доказанного наблюдением красного смещения для далеких галактик), а с другой стороны — реликтового излучения с температурой 3 К, отзвука Большого Взрыва, «возвестившего» около  $10^{10}$  лет назад о «рождении» Вселенной.

Наконец Эйнштейн надеялся увенчать дело своей жизни объединением гравитации и электромагнетизма, в результате которого они выглядели бы как различные стороны единого взаимодействия. Говоря современным языком, он хотел объединить электрический заряд и гравитационный заряд (массу) в нечто единое. Более того, показав, что масса связана с кривизной пространства — времени, он надеялся, что и электрический заряд можно будет аналогичным образом связать с каким-либо геометрическим свойством пространственно-временной структуры.

Но как сюда войдут слабые и сильные ядерные силы и, соответственно, слабые и сильные ядерные заряды? Ведь гравитация и электромагнетизм — это только два из четырех фундаментальных взаимодействий. Именно здесь уместно рассказать о последних, «постэйнштейновских» исследованиях

Мы считаем, что электромагнитный заряд и слабые и сильные ядерные заряды чрезвычайно родственны друг другу. Это проявляется в том, что, как было недавно показано, они могут принимать лишь дискретные наборы значений. Поэтому на первой стадии унификации в единое целое будут сведены электромагнитное и ядерное взаимодействия, после чего должно произойти объединение этих взаимодействий с гравитацией. На этом этапе, возможно, осуществится мечта Эйнштейна — это единое взаимодействие окажется проявлением геометрических свойств пространства — времени.

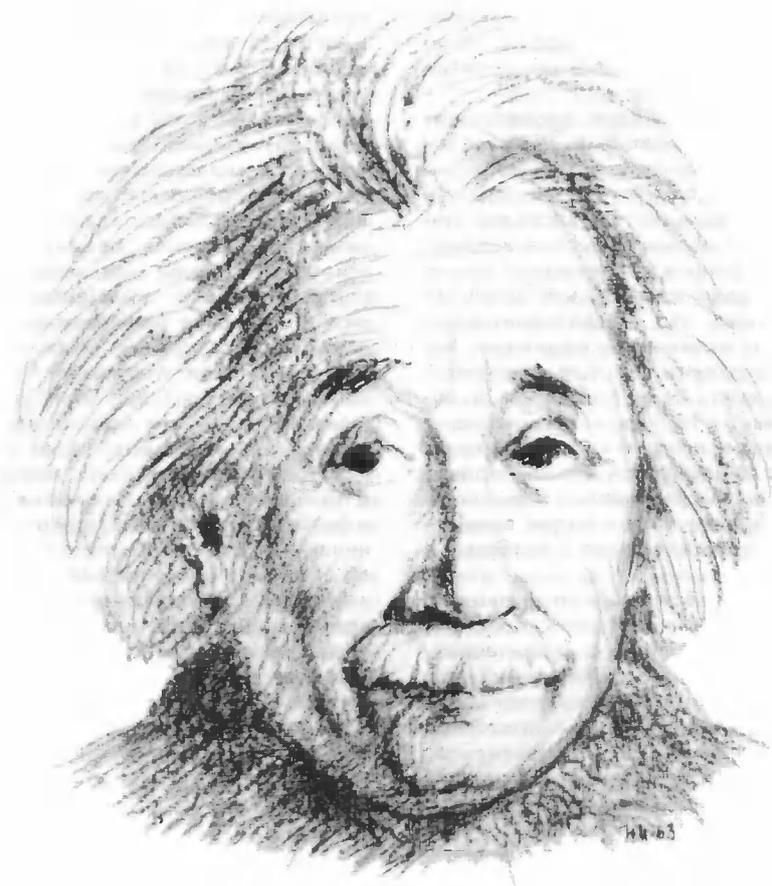
Здесь трудно изложить теоретические аргументы, которые привели нас к этому заключению. Но существуют экспериментальные данные, подтверждающие единство

электромагнитного и слабого взаимодействий.

Наиболее эффективное предсказание теории, объединяющей электромагнитное и слабое взаимодействия, подтверждено недавно на линейном ускорителе в Станфорде (США). Оно заключается в следующем: если, действительно, слабое взаимодействие есть не что иное, как одно из проявлений единого «электрослабого» взаимодействия, то при тщательном исследовании сила, действующая между протоном и электроном, должна проявить некоторые свойства, которые ранее приписывались лишь слабому взаимодействию. Одно из таких свойств — различие между силами, действующими на электроны с разными ориентациями спинов. Станфордский эксперимент, измеривший это различие с беспрецедентной точностью, показал, что при рассеянии в тяжелой воде отклонение электронов с левой поляризацией действительно на  $1/10\,000$  больше, чем отклонение электронов с правой поляризацией. Точно в соответствии с предсказаниями теории в одном из десяти тысяч актов рассеяния слабое взаимодействие вторгается в до сих пор обособленную область электромагнетизма, окончательно подтверждая гипотезу, что и то и другое есть лишь разные аспекты единого фундаментального взаимодействия.

Существует и второе следствие, еще более эффективное. Утверждается, что явное различие между слабым и электромагнитным взаимодействиями, проявляющееся в короткодействующем характере первого и далекодействующем второго, — просто результат того обстоятельства, что мы живем в эпоху, отдаленную от Большого Взрыва примерно на  $10^{10}$  лет, когда Вселенная уже остыла до температуры 3 К. Если бы нам «посчастливилось» жить и экспериментировать через 0,1 секунды после рождения Вселенной, оба взаимодействия — и слабое и электромагнитное — оказались бы далекодействующими. Конечно, мы не можем путешествовать назад во времени, но можем точно описать количественное различие между радиусами действия слабых и электромагнитных сил.

Строго это формулируется следующим образом: если рассматриваемые взаимодействия действительно представляются собой разные проявления единого «электрослабого» взаимодействия, то должны существовать две новые тяжелые элементарные частицы с массами, примерно составляющими 80 и 90 масс протона; первая — заряженная, вторая — электрически



Альберт Эйнштейн.  
Литография Ю. Б. Могилевского.

нейтральная. Эти частицы должны быть переносчиками слабого взаимодействия, точно так же, как фотон является переносчиком электромагнитного взаимодействия. Сейчас в Европейском центре ядерных исследований (ЦЕРН, Швейцария) ускоритель, введенный в строй 6 лет назад, переоборудуется для получения пучков протонов и антипротонов с энергией, необходимой для экспериментов по поиску предсказанных частиц. Если такие пучки удастся получить, можно ожидать, что эксперименты будут проведены в течение 1982 г. Если же нет (существуют громадные трудности в достижении подходящей интенсивности),

нам понадобится новый ускоритель частиц с еще более высокими энергией и интенсивностью пучков.

До известной степени эксперимент по поиску частиц — переносчиков слабых взаимодействий, и в частности тяжелого фотона, по своей значимости можно сравнить с измерением во время солнечного затмения 1919 г. отклонения световых лучей гравитационным полем Солнца — экспериментом, подтвердившим теорию гравитации Эйнштейна. В данном случае на карту поставлено объединение слабого и электромагнитного взаимодействий. В настоящее время все косвенные эксперимен-

ты говорят в пользу гипотезы о единстве этих взаимодействий и о существовании частиц — переносчиков слабого взаимодействия. Таким образом, в природе существуют не четыре, а три основных вида взаимодействий.

После того как этот эксперимент будет поставлен, а может быть и одновременно с ним, будет проверена возможность объединения сильного взаимодействия с электрослабым, которое сведет три фундаментальных взаимодействия к двум. Проверка эта состоит в следующем: около 10 тыс. т воды надо поместить в шахту на глубину в 1 милю, что предохранит воду от всех внешних источников радиации; эту массу воды окружить приборами, регистрирующими свет. Если примерно в течение года один из  $10^{33}$  протонов, которые содержатся в воде, превратится в позитрон, излучив свет с характерной длиной волны, это будет сигналом «великого» объединения, т. е. объединения трех видов взаимодействий: электромагнитного, слабого и сильного.

Однако как обстоит дело с окончательным объединением этого «электроядерного» взаимодействия с гравитацией, а затем и с другой идеей Эйнштейна, что это новое взаимодействие должно быть неким проявлением структуры пространства — времени? Как это ни поразительно, но в оптимистической ситуации, сложившейся в современной физике, эти идеи тоже кажутся близкими к осуществлению. Возможно, что пространство — время имеет дополнительные измерения, кроме тех четырех, которые мы непосредственно воспринимаем; возможно, что они связаны с электрическим и ядерными зарядами так же, как гравитационный заряд связан с кривизной четырехмерного пространства — времени. Может быть, как предполагает Уилер, электрический и ядерные заряды свидетельствуют о наличии мелкомасштабной структуры пространства — времени, напоминающей пенообразную ячеистую структуру, которая выглядит однородной, как бы «сглаженной», при грубом рассмотрении. Пространство — время может оказаться похожим на разновидность сыра с дырками в тех местах, где расположены заряды. Некоторые из этих идей были сформулированы еще при жизни Эйнштейна. Над некоторыми из них работал он сам. Сегодня, когда можно считать, что объединение электромагнитного и слабого взаимодействий уже достигнуто, эти идеи кажутся близкими к осуществлению.

Меня позабавило чтение раздела

«Наука и техника» солидного английского журнала «Экономист» от 10 марта 1979 г., посвященного памяти Эйнштейна. «Экономист» обсуждает объединение взаимодействий, о котором рассказывалось выше, и затем продолжает: «Если природа действительно проста и существует только единое фундаментальное взаимодействие, то в промышленности должны задуматься над долгосрочными программами исследований. Возможно, в конечном итоге окажется целесообразным использовать эти другие силы для новых технологий, управляя ими с помощью электромагнетизма. Никто не может точно предсказать, какие здесь могут быть применения. Но ведь когда Максвелл более 100 лет назад разобрался, что электричество и магнетизм — это только разные аспекты единого электромагнитного взаимодействия, никто не предвидел, что это приведет к появлению радио, телефона, телевидения и всей электроники». Наверняка Эйнштейн никак не думал об этих выгодах, мечтая об объединении теории Максвелла и Ньютона в рамках новой теории пространства — времени, наделенного динамическими свойствами.



В заключение я хочу поделиться с читателями одной мыслью, на которую меня навели некоторые интересные, на мой взгляд, факты биографии Эйнштейна.

В этом столетии нет никого, равного Эйнштейну; возможно, никогда и не было во всей истории человеческой мысли, во всяком случае, если говорить о физике. Несомненно, здесь никто другой не был инициатором стольких революционных идей.

Но как легко мог быть потерян Эйнштейн для науки, особенно если бы он родился в развивающейся стране. В возрасте 15 лет его вызвал один из учителей в гимназии Лутпольда в Мюнхене; учитель высказал пожелание, чтобы Эйнштейн оставил школу. Как впоследствии вспоминал сам Эйнштейн, на его замечание, что он не сделал ничего дурного, учитель заметил только: «Одно ваше присутствие подрывает уважение класса ко мне». Это был намек на независимость Эйнштейна.

Когда ему исполнилось шестнадцать с половиной лет, Эйнштейн решил поступить в Цюрихский политехникум. Он сдавал вступительные экзамены на инженера и, к счастью для физики, провалился. Годом позже он достиг цели, но к этому времени он оставил всякую мысль стать

инженером. Эйнштейн окончил Цюрихский политехникум в 1900 г.; он искал там место преподавателя, но безуспешно «поскольку... не пользовался благосклонностью бывших учителей». Ему пришлось перебиваться временной работой, выполняя различные вычисления, давая частные уроки по 3 франка за час, преподавая в школе. В ноябре 1901 г. Эйнштейн представил работу на соискание докторской степени (это было необходимо для получения права преподавать в университете). Хотя эта работа (уже вторая) была принята ведущим физическим журналом «Annalen der Physik», Цюрихский университет отверг ее как несоответствующую требованиям.

По свидетельству Б. Хофмана, Эйнштейн чувствовал, что он тонет, не находя себе места в окружающем его мире. Горький эпизод из далекого 1901 г. иллюстрирует, что я имею в виду. Тогда в «Annalen der Physik» была опубликована первая научная работа Эйнштейна.

Оттиск статьи он послал профессору В. Оствальду (впоследствии лауреату Нобелевской премии) со следующими словами: «Поскольку я воодушевлялся Вашей книгой по общей химии, ...беру на себя смелость послать Вам оттиск моей статьи. Я рискнул также спросить Вас, не нужен ли Вам специалист по математической физике... Я позволяю себе вольность обращаться к Вам с такой просьбой только потому, что не имею никаких средств...»

Несмотря на второе напоминание, ответа не было ни от Оствальда, ни от профессора Камерлинг-Оннеса из Лейдена, к которому Эйнштейн обращался с подобной просьбой.

В этот период, по словам Хофмана, в жизни Эйнштейна произошло трогательное событие, о котором сам он даже не знал. Его отец, неудачливый коммерсант, человек больной и совершенно чужой в академическом мире, решил сам написать профессору Оствальду. Вот его письмо:

«Я умоляю Вас извинить отца, который отважился обратиться к Вам, дорогой профессор, в интересах своего сына... Моему сыну Альберту Эйнштейну 22 года... Все, кто могут судить об этом, хвалят его талант... Мой сын глубоко несчастен, оттого что не имеет работы, и с каждым днем в нем укореняется мысль, что он неудачник в своей карьере и что это уже непоправимо. Поскольку, дорогой профессор, мой сын чтит и уважает Вас, ...я позволяю себе обратиться к Вам с просьбой прочесть его

статью... и остаюсь в надежде, что Вы напишите ему несколько строк в ободрение, чтобы он мог вновь обрести радость в жизни и работе...

Мой сын не подозревает об этом моем экстраординарном поступке»,

Ответа по-прежнему не было. Теперь хорошо известно, что в 1902 г. Эйнштейн нашел работу в Швейцарском патентном бюро, сначала как стажер на должность технического эксперта 3 класса с продвижением затем на должность эксперта 2 класса — инженера. Именно здесь, вдали от настоящих научных библиотек и стимулирующей атмосферы университетских факультетов физики, урывая драгоценные минуты для сделанных тайком вычислений, которые он виновато прятал в чертежный стол, когда приближались чьи-нибудь шаги, Эйнштейн в 1905 г. написал свои новаторские работы по квантовой теории света и объединению понятий пространства и времени. И в течение всего этого периода он оставался без «драгоценного» звания доктора философии. «Я не стану доктором философии... Вся эта комедия стала мне надоедать», — так писал Эйнштейн по поводу второй попытки получить эту степень в 1905 г., тоже провалившейся. Третья попытка увенчалась, наконец, успехом, но к тому времени он больше не нуждался в докторской степени, поскольку уже стал знаменит.

Я рассказал эту историю в деталях по той простой причине, что подобные состояния удрученности и упадка духа — норма для ученых в развивающихся странах. И сегодня, пусть даже в развитой стране, лучше ли чувствовал бы себя такой человек, как Эйнштейн, с его служением науке ради науки?..

Перевод с английского А. И. Антипова



## НАВСТРЕЧУ XXVI СЪЕЗДУ КПСС



## О современных проблемах Каспийского моря

Г. В. Воропаев, А. Н. Косарев



Григорий Васильевич Воропаев, член-корреспондент АН СССР, директор Института водных проблем АН СССР. Председатель Научного совета Государственного комитета СССР по науке и технике и АН СССР по комплексному изучению проблем Каспийского моря. Специалист в области общей гидрологии, мелиорации и водного хозяйства. В последнее время возглавляет работу по научному обоснованию территориального перераспределения водных ресурсов.



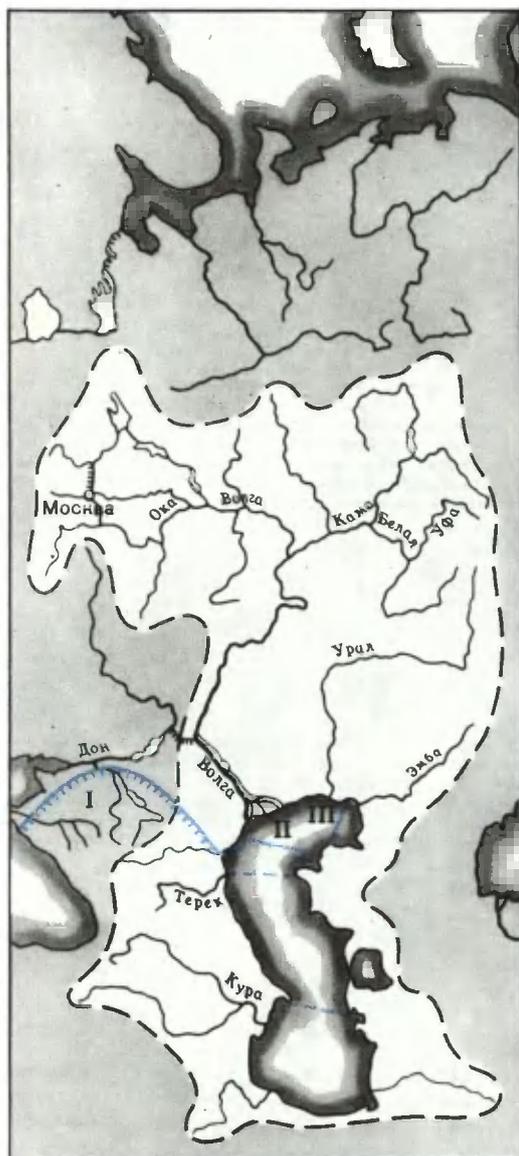
Алексей Нилович Косарев, доктор географических наук, старший научный сотрудник кафедры океанологии Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Заместитель председателя той же совета. Занимается проблемами гидрологии южных морей СССР, в частности Каспийского моря. Автор монографии: Гидрология Каспийского и Аральского морей. Изд-во Моск. ун-та, 1975.

Судьба Каспийского моря постоянно привлекает к себе внимание. Это объясняется несколькими причинами: уникальностью природы моря, не имеющего аналогов среди водоемов Земли; его социально-историческим значением в жизни страны; наконец, той огромной ролью, которую бассейн Каспия и само море играют в нашем народном хозяйстве.

Бассейн Каспийского моря занимает более половины площади Европейской части Советского Союза, включая части территории РСФСР, Азербайджана, Казахстана, Туркмении. Здесь живут почти 70 млн человек, освоено около 100 млн га сельско-

хозяйственных угодий, производится более одной трети промышленной и около одной пятой сельскохозяйственной продукции страны, построены и эксплуатируются 34 крупные ГЭС, вырабатывающие треть электроэнергии в стране. Валовая продукция бассейна Каспия составляет около 30% валовой продукции страны.

Само Каспийское море — один из основных рыболовных бассейнов СССР, дающий четверть общих уловов рыбы во внутренних водоемах страны и до 90% мировых уловов осетровых рыб. Это район крупных запасов газа, солей, важнейших воднотранспортных путей — внутрисоюзных и международных, район интенсивно развиваемых курортов, мест отдыха и туризма.



Бассейн Каспийского моря. На рисунке показаны стемы гидротехнических сооружений по регулированию режима уровня Каспия: I — канал Черное море — Каспий; II — дамба, отделяющая акваторию Северного Каспия; III — дамба, отделяющая северо-восточные мелководья. Пунктир — границы между Северным, Средним и Южным Каспием.

Большая насыщенность бассейна и акватории моря природными ресурсами, высокое развитие здесь различных отраслей промышленности и сельского хозяйства привели к тому, что антропогенное давление на море за последние десятилетия

сильно возросло. При этом интенсификация в регионе Каспия одной из отраслей хозяйства подчас наносит ущерб другой не менее важной отрасли. В результате экологические системы моря функционируют со значительной перегрузкой, в некоторых их звеньях создаются ситуации, близкие к критическим. Таким образом, в современных условиях проблемы, связанные с Каспийским морем, все более усложняются и становятся более комплексными, требуют для своей разработки объединения научных сил.

Основные события в жизни Каспийского моря в текущем столетии неоднократно обсуждались на конференциях и совещаниях, в специальной и популярной литературе. Традиционная каспийская тема и для «Природы», где со статьями о проблемах Каспия выступали такие известные специалисты, как Б. А. Аполлов, Т. С. Расс, Л. А. Зенкевич, Ю. Ю. Марти и др. Какое же положение дел на Каспии в наши дни?

#### ВОДНЫЙ БАЛАНС И УРОВЕНЬ

Большая часть проблем, относящихся к Каспийскому морю, в конечном счете определяется тем, что это замкнутый водоем, не имеющий связи с Мировым океаном и испытывающий значительные многолетние колебания уровня.

Уже в 50-е—60-е годы проблема Каспийского моря стала пониматься как проблема управления его режимом, прежде всего уровнем, и далее — управления всеми другими связанными с ним режимами, определяющими общее состояние водной среды.

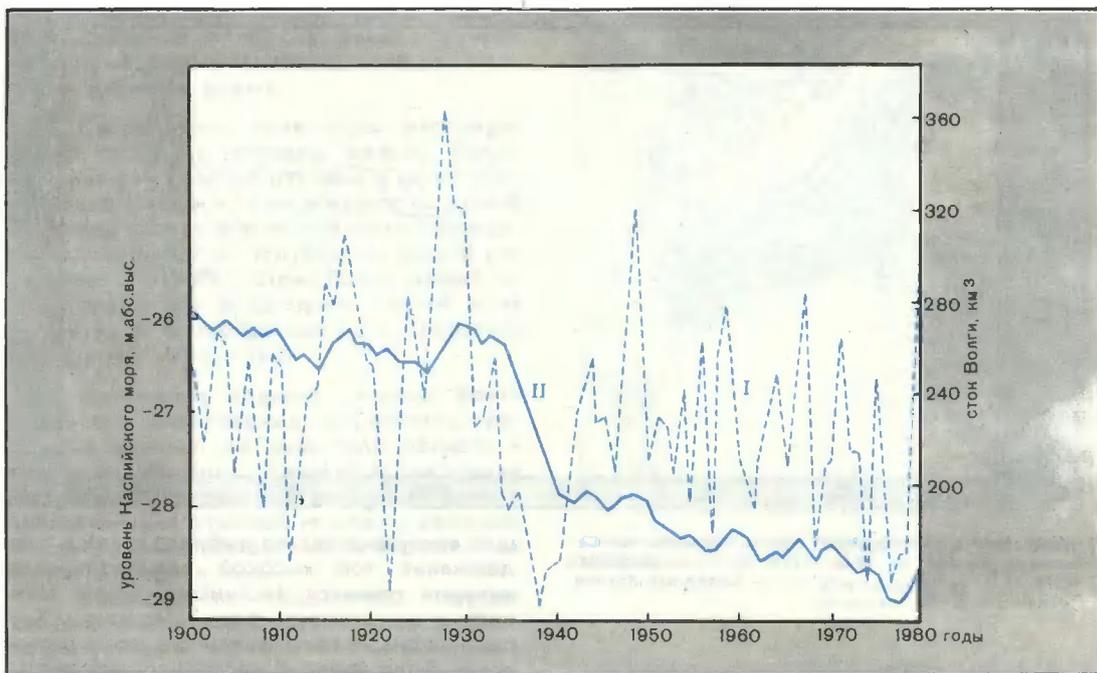
Водный баланс (или, точнее, бюджет) моря складывается из следующих основных компонентов: приходная часть — речной сток, атмосферные осадки, приток подземных вод; расходная — испарение и существовавший до 1980 г. сток в Кара-Богаз-Гол: Атмосферные осадки и испарение в многолетнем плане меняются мало и за 1940—1970 гг. составили в среднем за год соответственно 74,5 и 359,5 км<sup>3</sup> воды. Величину подземного притока обычно также принимают постоянной и равной 4 км<sup>3</sup> в год. Сток воды в залив Кара-Богаз-Гол изменялся от 26,2 км<sup>3</sup> в 1929 г. до 5 км<sup>3</sup> в 1978 г.

Средний суммарный сток рек в Каспийское море за 1880—1972 гг. был равен 294 км<sup>3</sup> в год, из которых 95% давали Волга, Урал, Кура, Терек и Сулак. При этом более 80% суммарного стока в море составляют воды Волги — 251 км<sup>3</sup> в год за 1881—1950 гг. Таким образом, главная приходная

статья баланса, уравновешивающая испарение, — речной сток в море. В 30-х годах в бассейне Волги наблюдался дефицит атмосферных осадков, что привело к существенному уменьшению водности реки. Средний сток Волги за 1930—1945 гг. снизился до  $216 \text{ км}^3$  в год.

Соответственно менялся и уровень Каспийского моря. С 1830 (начало инструментальных наблюдений за уровнем Каспия) по 1930 г. уровень моря держался на отметках между  $-25,2$  и  $-26,6$  м абс и в среднем составлял  $25,8$  м. С 1930 г. началось

воды из реки на хозяйственные нужды, главным образом на ирригацию (в настоящее время эти расходы составляют около  $20 \text{ км}^3$  в год). К 1977 г. уровень моря опустился до отметки  $-29,0$  м — самой низкой за более чем 400 лет. Правда, в 1978—1980 гг. наблюдалось некоторое повышение уровня, и сейчас он находится на отметке  $-28,5$  м абс. Эта отметка и представляет собой наиболее вероятное современное положение уровня Каспия. Уровень моря с отметкой  $-28,5$  м — предельно допустимо низкий для отраслей народного хозяйства, связан-



Сток Волги и уровень Каспийского моря за 1900—1979 гг.  
I — сток Волги у Волгограда, II — средний годовой уровень моря.

резкое снижение уровня моря (20 см в год), длившееся до 1941 г. В 1956 г. уровень моря был уже на 2,5 м ниже, чем в 1929 г.

В 50-х годах в бассейне Волги началась фаза повышенной увлажненности и уровень Каспия мог бы повыситься, по расчетам И. А. Шикломанова, к 1975 г. примерно на 1 м. Однако именно в 50-х годах на Волге были созданы Куйбышевское и Волгоградское водохранилища, на заполнение которых потребовались значительные объемы воды. Кроме того, увеличился разбор

ных с морем — судоходства, морской добычи нефти и особенно рыбного хозяйства. А каковы возможные перспективы?

Разработка сверхдолгосрочных прогнозов уровня Каспийского моря — задача чрезвычайно сложная. Наука, к сожалению, пока не имеет методов составления прогнозов гидрометеорологического режима для такого водоема, как Каспий, на 30—50 и более лет. Дело в том, что мы пока не можем прогнозировать изменения климатических условий, которые определяют характер влажности и водности территории. Можно давать только вероятностные прогнозы, исходя из посылок, что процесс стационарен, путем экстраполяции составляющих водного баланса моря. Некоторые исследователи используют при прогнозах связи между

колебаниями уровня Каспия и индексами атмосферной циркуляции или другими показателями, характеризующими условия влагооборота в Северном полушарии.

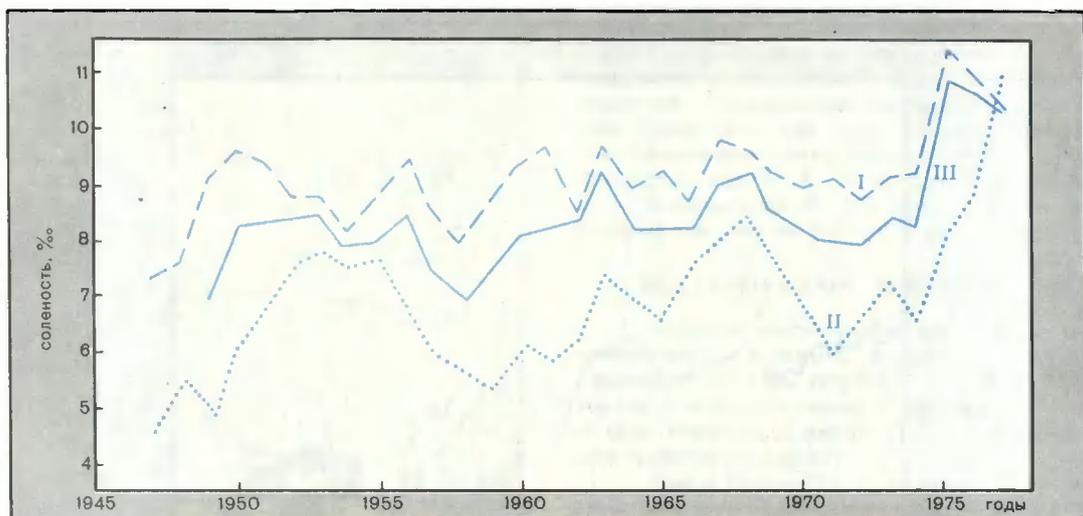
Все исследователи в общем сходятся в том, что начавшаяся в 50-х годах фаза повышенной увлажненности климата в бассейне Волги будет продолжаться, и за счет естественных климатических факторов следовало бы ожидать существенного повышения уровня моря.

В настоящее время Каспий недополучает примерно 35—37 км<sup>3</sup> речного стока в

В настоящее время, по данным Р. В. Николаевой, общая площадь Каспийского моря составляет 360,7 тыс. км<sup>2</sup>. С 1929 г. площадь моря сократилась почти на 40 тыс. км<sup>2</sup> главным образом за счет осушения мелководного Северного Каспия.

### СЕВЕРНЫЙ КАСПИЙ

Северный Каспий содержит менее половины процента общего объема вод моря. Однако именно эта часть Каспия представляет собой основной ареал, обеспечиваю-



Изменения среднегодовых величин солености Северного Каспия за 1949—1979 гг. I — западная часть, II — восточная часть, III — Северный Каспий. По данным Д. Н. Катунина.

год по сравнению со временем, когда сток не был зарегулирован. По данным различных организаций, к 2000 г. размеры безвозвратного потребления воды в бассейне Каспия приблизительно оцениваются от 66 до 100 км<sup>3</sup> в год. Даже при изъятии 66 км<sup>3</sup> в год, уровень Каспия, по расчетам Государственного гидрологического института, при среднем естественном притоке понизится к 2000 г на 1,4 м.

Чтобы поддержать уровень хотя бы на современной, так нежелательно низкой отметке (—28,5 м абс) необходимы срочные меры по сокращению безвозвратных потерь речной воды. Суммарное предельное потребление воды по всем пяти основным рекам Каспийского бассейна не должно превышать 60—65 км<sup>3</sup> в год, а в бассейне Волги — 40 км<sup>3</sup> в год.

щий воспроизводство рыбного стада и поддержание той высокой продуктивности, которой славится Каспийское море. Ценность и уникальность фауны Северного Каспия — одна из главных причин, по которым здесь было создано несколько заповедников. Последствия понижения уровня моря сказываются в Северном Каспии быстрее и сильнее, чем в глубинном бассейне моря.

Изменения, происшедшие в последнее время в Северном Каспии, подробно обсуждались на специальном совещании, проходившем в Астрахани в ноябре 1979 г. Совещание было организовано Научным советом по комплексному изучению проблем Каспийского моря Государственного Комитета СССР по науке и технике и АН СССР, в задачу которого входит координация всех исследований, проводимых различными организациями по каспийской проблематике.

В результате регулирования стока Волги изменился не только по величине, но и по распределению внутри года. Объем весеннего половодья снизился с 150 км<sup>3</sup>

(в 1881—1955 гг.) до  $83 \text{ км}^3$  (в 1971—1977 гг.), а в 1975—1977 гг. был даже менее  $60 \text{ км}^3$ . Гидрограф половодья изменился в худшую для рыбного хозяйства сторону. В естественных условиях нарастание и спад половодья происходили постепенно. Теперь же наблюдается более позднее начало половодья, раннее прохождение его пика, существенно более раннее наступление межени. В то же время несколько возрос сток в осенне-зимние месяцы. Отмечаются и изменения в химическом составе речного стока. Заметим, что рыбное хозяйство нуждается в повышенном притоке вод в половодье, водный транспорт — в обеспечении глубин в летне-осеннюю межень, а гидроэнергетика — в высоком стоке в зимнее время.

Существенно изменилось распределение стока по рукавам дельты Волги. Уменьшился сток по рукавам Старая Волга, Болда, Кизань и Бузан и возрос по рукаву Бахтемир вследствие постоянного проведения здесь работ по углублению дна. В результате около 25% стока Волги уходит теперь транзитом в Средний Каспий и не участвует в биопродукционных процессах в северной части моря.

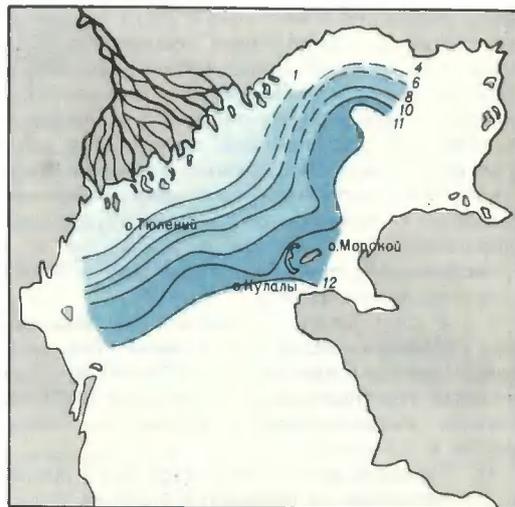
Изменение водного режима Волги привело к значительным изменениям природных условий ее дельтовой области и устьевое взморья. Усилилось засоление почвенного покрова дельты, обмеление и заболочивание отмелей устьевое взморья, что затрудняет проход рыб на нерестилища и скат молоди в море.

Существенно изменились морфометрические и гидрографические особенности устьевой области Волги. В связи с быстрым падением уровня моря и отступанием морского края дельты, между собственно дельтой и более глубокой зоной устьевое взморья образовалась буферная зона шириной 35—60 км с глубинами в основном менее 1 м, сильно зарастающая надводной и подводной растительностью. В пределах этой зоны происходит значительная трансформация биогенного и твердого стока Волги, в море поступает меньше минеральных форм соединений фосфора и азота и больше органических. В мелководной части взморья значительно ослабли динамические процессы — волнение, течения, сгоны. Интересно, что, несмотря на общее снижение уровня моря, в буферной зоне наблюдается стабилизация уровня и даже незначительное его повышение. В результате, эта зона, по существу, выпала из актив-

ного рыбохозяйственного использования.

При дальнейшем уменьшении стока указанные тенденции в изменении природных особенностей устьевой области Волги будут продолжаться в неблагоприятном для рыбного хозяйства направлении.

В последние годы сильно снизился также сток Урала (в 1974—1978 гг. он составил всего  $4,8 \text{ км}^3$  в год), который теперь почти не оказывает опресняющего влияния на акваторию восточной части Северного Каспия. Падение уровня моря привело к



Соленость в промилле Северного Каспия в августе маловодного 1976 г.

изменению водообмена между западной и восточной частями Северного Каспия — затруднилось поступление волжских вод в восточные районы.

В современных условиях продолжает изменяться соленость Северного Каспия. В мелководных районах его западной части она уменьшается, а на остальной акватории, особенно в восточной части, — увеличивается (до  $9,7$ — $10,7$ ‰ в 1977—1978 гг., по сравнению с  $6,5$ — $8,7$ ‰ в 1949—1958 гг.). Площадь опресненных зон Северного Каспия резко сократилась, увеличилось поступление сюда более соленых среднекаспийских вод. В юго-восточном районе Северного Каспия в отдельные годы образуются зоны, где соленость воды достигает 13—15‰. Годовой ход солености Северного Каспия теперь в большой степени контролируется попусками ГЭС на Волге.

В пограничном со Средним Каспием районе в последние годы усилилось образование в летнее время обширных зон с дефицитом кислорода. По всей акватории Северного Каспия сократились запасы биогенных веществ, первичная продукция органического вещества уменьшилась более чем вдвое.

Указанные изменения физико-географических и гидролого-гидрохимических условий Северного Каспия неблагоприятно отразились на биологической продуктивности водоема. Так, биомасса фитопланктона в последние годы сократилась почти в 3 раза (особенно в восточной части Северного Каспия). Сохраняется установившийся еще в 50-х годах низкий уровень развития зоопланктона. Уменьшилась биомасса и ареал слабосоленоватоводного и солоноватоводного комплексов организмов донной фауны, и одновременно увеличивалась продукция соленолобивых форм. Эти изменения обуславливают резкое ухудшение кормовой базы воблы и леща, хотя и обеспечивают пока благоприятные условия для нагула осетровых.

В результате изменений экологических условий в местах размножения (низовья рек) и нагула (северная часть моря) пресноводных полупроходных и речных рыб их запасы уменьшились, а уловы снизились почти в 2,5 раза.

Прекращение лова осетровых в море, регулирование их промысла в реках, охрана естественного и развитие искусственного воспроизводства<sup>1</sup> позволили улучшить состояние запасов осетровых в Каспийском бассейне. Однако в маловодные 1973, 1975—1977 гг. пополнение стада севрюги и осетра молодью складывалось неблагоприятно.

В условиях продолжающегося роста безвозвратного потребления воды в бассейне Волги, падения уровня моря (еще на 1 м), увеличения солености на большей части акватории Северного Каспия (до 12<sup>0</sup>/<sub>00</sub>), следует ожидать утраты промыслового значения наиболее ценных рыб, в том числе осетровых.

Кардинальную помощь в улучшении природно-экологических условий Северного Каспия может оказать скорейшее осуществление проекта переброски части сто-

Гидрологические процессы в Каспийском море в зимний (вверху) и летний (внизу) сезоны. На врезке — зоны апвеллинга.

ка северных рек в бассейн Каспийского моря. Вместе с тем предлагаются и другие мероприятия по оптимизации водно-солевого режима Северного Каспия и устьевых областей Волги и Урала и повышению их биологической продуктивности.

Одна из мер заключается в необходимости улучшения работы вододеливателя в дельте Волги — специальной железобетонной плотины, построенной несколько лет назад в 50 км выше Астрахани. Перекрыв пролеты вододеливателя затворами, можно распределять паводковые воды равномерно по всем рукавам Волги. К сожалению, правила работы вододеливателя, предусматривающие обводнение нерестилищ восточной части дельты Волги, пока еще не соблюдаются.

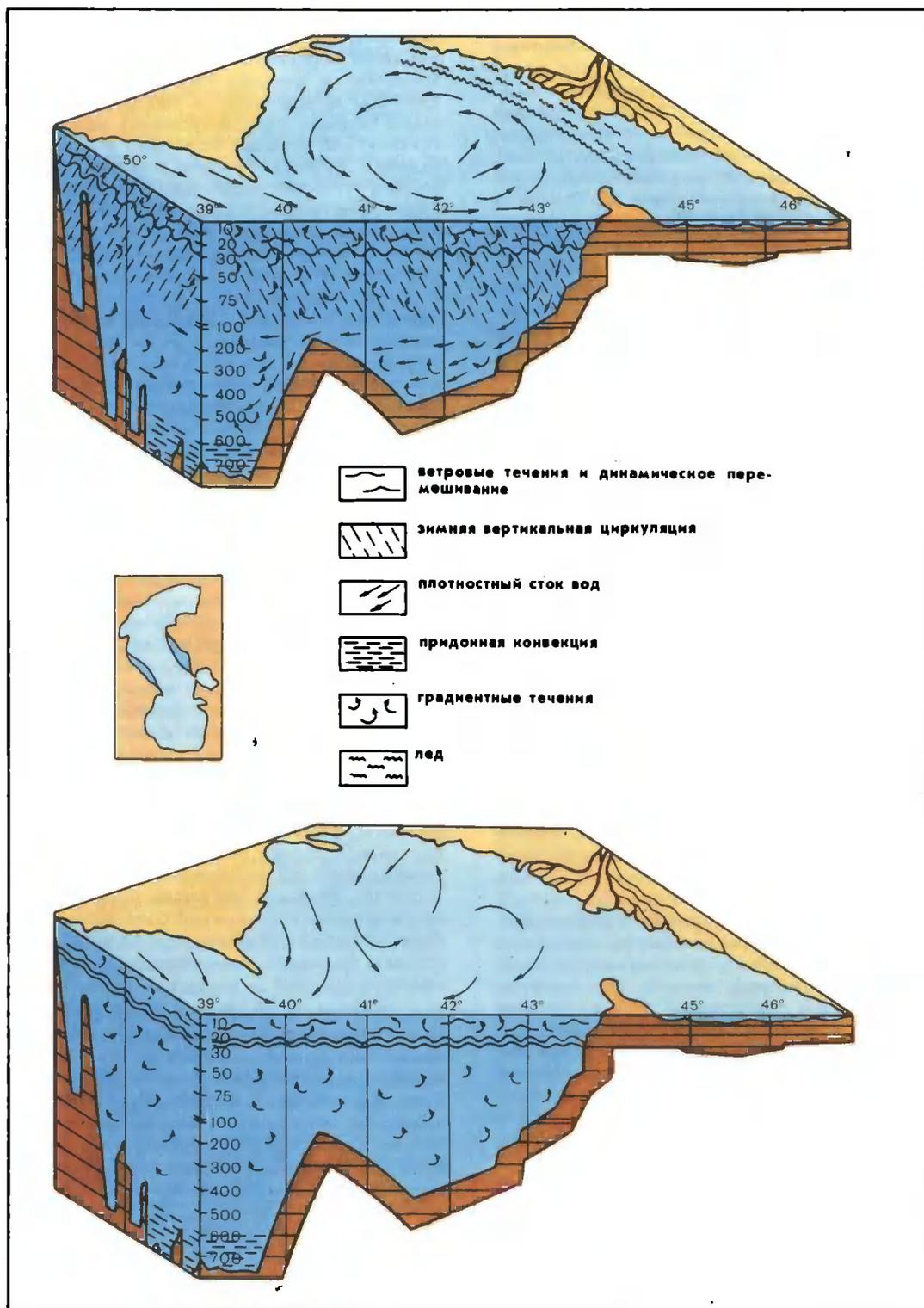
Другое важное мероприятие — это строительство канала Волга — Урал с целью ежегодной переброски в Урал от 1,5 до 4,0 км<sup>3</sup> волжской воды в интересах рыбного хозяйства. Ведь Урал незарегулирован и, несмотря на свой маленький сток и небольшие паводки, обеспечивает до 40% вылова осетровых Каспийского бассейна.

Необходимо также провести реконструкцию устьевой области Волги, в частности углубить и расширить каналы-рыбоходы; осуществить рыбохозяйственную мелиорацию дельты, мелководной части устьевого взморья и Волго-Ахтубинской поймы с учетом тенденции развития природных процессов и влияния антропогенных факторов.

Для улучшения условий воспроизводства осетровых рекомендуется увеличить площади искусственных нерестилищ в реках Каспийского бассейна и объявить все нерестилища осетровых запоевными. Во всех отраслях народного хозяйства Каспийского региона следует сокращать потребление воды путем совершенствования технологии производства, внедрения водооборота и повторного многократного использования воды.

Сейчас, когда в природных условиях Северного Каспия происходят быстрые и существенные изменения, необходимо осуществить пристальный контроль за состоянием природной среды региона.

<sup>1</sup>В сезоне 1980 г. в искусственных условиях получено свыше 70 млн штук молоди белуги, осетра, севрюги — самый высокий показатель за все годы. Специальные суда-аквариумы доставляют молодь в наиболее благоприятные для нагула места Северного Каспия.



## СРЕДНИЙ И ЮЖНЫЙ КАСПИЙ

По сравнению с Северным Каспием гидролого-гидрохимические условия в глубинном бассейне моря — Среднем и Южном Каспии значительно более устойчивы по отношению к внешним воздействиям, что объясняется инертностью водных масс благодаря их большому объему<sup>2</sup>.

Экологическая система Среднего и Южного Каспия функционирует в основном за счет внутреннего круговорота биогенных веществ, запасы которых лишь в малой степени зависят от непосредственного влияния речного стока. Соленость открытых районов моря также меняется мало, и ее величина редко выходит за пределы  $12,7—13,2^{0}/_{00}$ . Все это обуславливает стабильность экологических условий для обитающих здесь рыб — каспийских килек, морских сельдей, взрослых осетровых и других.

Биогенные вещества в Среднем и Южном Каспии активно поступают из глубинных слоев в верхний продуктивный слой моря благодаря хорошо развитым процессам перемешивания морских вод в зимнее время.

Процесс плотностного перемешивания в Каспийском море значительно облегчается тем, что толща его вод весьма слабо стратифицирована по солености, чем это замкнутое море выгодно отличается от Черного. В открытых районах Каспия изменение солености по вертикали не превышает десятых долей промилле, тогда как в Черном море, благодаря поступлению в его глубинные слои более соленых мраморно-морских вод, соленость возрастает от  $17—18^{0}/_{00}$  на поверхности до  $22,5^{0}/_{00}$  у дна.

В глубинном бассейне Каспийского моря интенсивный вертикальный обмен вод обеспечивают следующие факторы: ветровые течения и динамическое перемешивание в верхнем слое (летом он ограничен снизу термоклином); градиентные течения в глубинных слоях; зимняя вертикальная циркуляция и плотностной сток охлажденных вод с мелководий в глубинные слои; придонная конвекция в Южном Каспии; летом — перемешивание за счет внутренних волн, возбуждаемых в термоклине; сгонная циркуляция (апвеллинг), развивающаяся в прибрежных районах Среднего Каспия, особенно вдоль его восточного берега.

Зимняя вертикальная циркуляция, происходит за счет охлаждения вод и повышения их плотности, при средних условиях достигает в средней части моря глубины  $150—200$  м, в южной —  $100$  м (в суровые зимы глубина распространения конвекции значительно больше, особенно в Среднем Каспии). В перемешивании и вентиляции более глубинных слоев моря важную роль играет плотностной сток вод из северных мелководных районов моря и из заливов восточного побережья, также сильно выхолаживаемых зимой. Образующиеся зимой в районе кромки льда на границе между Северным и Средним Каспием воды с высокой плотностью имеют возможность стекать по склонам дна до самых больших глубин среднекаспийской впадины, а затем, переливаясь через Апшеронский порог, поступают и в глубинные слои Южного Каспия. В придонных слоях южной части моря процессы перемешивания могут усиливаться за счет возникновения придонной конвективной циркуляции, возбуждаемой тепловым потоком от дна моря.

Зимняя вертикальная циркуляция и плотностной сток вод обеспечивает хорошее насыщение глубинных слоев воды кислородом и вызывают компенсационный подъем глубинных вод, обогащенных биогенными веществами в верхний слой моря. Все эти процессы создают весьма благоприятные условия для формирования высокой биологической продуктивности в Среднем и Южном Каспии.

Температура воды, содержание кислорода и биогенных веществ в глубинном бассейне Каспийского моря за последние десятилетия почти не изменялись, что свидетельствует об устойчивости этих характеристик. Немного возросла лишь величина межгодовых изменений солености, чаще стала наблюдаться соленость  $13,0—13,2^{0}/_{00}$ , но для биологических процессов эти изменения солености несущественны.

Биологи считают, что изменение притока речных вод и понижение уровня моря существенно не отразились на показателях продуктивности планктона и бентоса в Среднем и Южном Каспии. Кормовая база наиболее многочисленных анчоусовидной кильки и взрослых осетровых сохраняется пока в стабильном состоянии и обеспечивает формирование их больших запасов и устойчивых уловов.

Интересно отметить также, что уменьшение стока рек в северную часть моря послужило первопричиной существенного изменения кислородного режима глу-

<sup>2</sup>По данным Р. В. Николаевой, общий объем вод Каспийского моря равен  $78$  тыс. км<sup>3</sup>, из них Северного Каспия —  $346$  км<sup>3</sup>, Среднего —  $26,5$  тыс. км<sup>3</sup>, Южного —  $51,2$  тыс. км<sup>3</sup>.

бинных вод Каспия, благоприятного для развития здесь биопродукционных процессов.

Известно, что в 30-х годах, в придонных слоях глубинных впадин Каспия отмечалось присутствие сероводорода, что свидетельствовало о недостаточной их вентиляции. В 40-х и особенно 50-х годах, после резкого снижения уровня моря, сероводородное заражение в придонных слоях Среднего и Южного Каспия исчезло, и содержание кислорода стало соответственно 3,0—3,5 и 1,5—2,5 мл/л. В чем конкретно причина таких резких изменений химических условий моря?

Уменьшение стока Волги и связанное с ним осолонение Северного Каспия привели к увеличению плотности северокаспийских вод, что обусловило во время зимнего охлаждения возможность более глубокого погружения этих вод в среднекаспийской впадине до самого ее дна. Как показали расчеты, до падения уровня моря такой возможности не было, так как плотность придонных слоев воды зимой все же оставалась выше, чем поверхностных. Вентиляция глубинных слоев Южного Каспия происходит вследствие поступления среднекаспийских вод. Поскольку увеличилась глубина их опускания по южному склону Апшеронского порога, улучшилась и вентиляция придонных слоев Южного Каспия. Этот процесс, в свою очередь, вызвал усиление компенсационного подъема глубинных вод к поверхности. В целом, за последние десятилетия улучшилось перемешивание во всей толще моря, вентиляция придонных слоев, снабжение их кислородом; более активным стало поступление питательных веществ в фотический слой моря.

Следует также иметь в виду, что из-за обмеления восточных рукавов Волги и сосредоточения ее стока по западным рукавам, биогенные вещества, выносимые рекой, в большем количестве чем ранее поступают в западный район Среднего Каспия, а затем выносятся течением и в южную часть моря.

В то время как понижение уровня моря, связанное с определенными видами антропогенного воздействия, неблагоприятно сказалось пока в основном на продуктивности Северного Каспия, другие виды хозяйственной деятельности отрицательно влияют на условия жизни организмов во всем море путем загрязнения его вод.

## БОРЬБА С ЗАГРЯЗНЕНИЕМ

Проблема борьбы с загрязнением вод Каспия имеет исключительно важное значение. Ввиду очень высокой степени промышленного освоения побережий моря, интенсивного развития морской добычи нефти, воды моря значительно загрязнены нефтяными углеводородами, тяжелыми металлами, акватория Северного Каспия — пестицидами. Борьба с загрязнением — дело весьма нелегкое, требующее времени, опыта и вложения немалых средств.

Партия и правительство уделяют этой проблеме большое внимание. В 1968 г. было принято постановление Совета Министров СССР «О мерах по предотвращению загрязнения Каспийского моря», в 1972 г. — постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О мерах по предотвращению загрязнения бассейнов рек Волги и Урала неочищенными сточными водами». В 1977 г. вышло постановление «О дополнительных мерах по охране Каспийского моря от загрязнения». В постановлениях предусмотрен широкий круг мероприятий по охране вод уникального водоема.

За прошедшее десятилетие на водоохраные мероприятия в бассейне Каспийского моря вложено 400 млн рублей, введено в эксплуатацию более 300 очистительных сооружений. Полностью ликвидирован сброс загрязненных вод с судов флота. К сожалению, пока еще продолжается сброс в водоем загрязненных сточных вод некоторыми промышленными предприятиями, расположенными на берегах моря.

Принимаемые меры уже начали приносить результаты. По данным Управления Каспводнадзор Министерства водного хозяйства СССР, на которое возложена охрана вод во всем бассейне Каспия, за последние 5—6 лет наметилась устойчивая тенденция к снижению общего уровня загрязнения вод.

В настоящее время ведется активная работа по созданию различных методов очистки сточных и промышленных вод, химических средств диспергирующего, сорбирующего и собирающего характера для борьбы с нефтяными разливами в море.

Все нефтеперерабатывающие заводы Азербайджана переведены на замкнутую систему водоснабжения. По программе коренной реконструкции отрасли водяное охлаждение технологических установок заменяется воздушным. Балластные воды из трюмов танкеров откачивают на очистные станции. Все суда нефтяного флота



Дельта Волги.

Фото А. В. Гидиримского  
и М. С. Редькина.

оснащаются устройствами, предотвращающими попадание нефтепродуктов в море.

Министерствами и ведомствами, предприятия которых находятся в бассейне Каспийского моря, разработаны мероприятия по полному прекращению к 1985 г. загрязнения водоема и впадающих в него рек.

### КАРА-БОГАЗ-ГОЛ

Существует немало проектов оптимизации и регулирования уровня Каспия, например, такие как переброска части стока северных рек. Другие проекты предусматривают поддержание уровня лишь в отдельных районах Каспия (локальное регулирование). Третьи направлены на сокращение расходной части водного бюджета водоема. Конечно, в этой статье невозможно рассмотреть все проекты, но на некоторых из них, наиболее актуальных или спорных, стоит остановиться. Один из проектов, уменьшающих расходную часть водного бюджета Каспия, уже реализован — в

1980 г. залив Кара-Богаз-Гол был отделен от моря. Изменения природы этого уникального залива происходят буквально на наших глазах.

В естественных условиях залив Кара-Богаз-Гол представлял собой самую крупную в мире лагуну, отделенную от Каспия песчаными косами, образующими пролив длиной около 9 км и шириной от 120 м у истока до 800 м в устье. По проливу каспийская вода поступала в залив, где полностью испарялась. Поэтому уровень залива был ниже уровня моря. Разность уровней моря и залива менялась в зависимости от количества поступавшей в Кара-Богаз-Гол каспийской воды, что, в свою очередь, зависело от положения уровня моря. Уменьшение стока в Кара-Богаз-Гол, вызванное падением уровня Каспия, привело к сокращению площади залива с 18,3 (1930 г.) до 9,6 тыс. км<sup>2</sup> (1979 г.). Максимальная глубина залива уменьшилась от 13 м в 30-е годы до 3,5 м. Средняя глубина залива не превышает теперь 1 м.

Из-за разности уровней моря и залива, а также благодаря тому, что вблизи устья пролива к поверхности выходят труднорастворимые породы, здесь в свое время образовался единственный в мире морской



Научно-исследовательское судно Каспийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства «Аксиома» в Северном Каспии.

Фото А. В. Гидиримского и М. С. Редькина.

водопад, высота которого в последние годы была около 3,5 м.

Все вместе: пролив, водопад и прилегающая к нему часть залива среди окружающей пустыни, создавали неповторимое, завораживающее впечатление, и этот крошечный уголок природы Каспийского моря оставил глубокий след в душе тех, кому посчастливилось его видеть.

Вследствие испарения поступающей в залив каспийской воды, дополнительного испарения «вековых» водных запасов залива, его вода представляет собой морскую воду, сгущенную в десятки раз — рапу, соленость которой достигает 300‰ и выше.

Рапа представляет собой концентрированный водный раствор хлоридов натрия, магния и калия, сульфата магния, с относительно небольшим количеством редких и рассеянных элементов.

Общие запасы солей в заливе оцениваются миллиардами тонн. Кара-Богаз-Гол — самое крупное в СССР месторождение сульфата натрия. Это единственное

место в мире, где в природных условиях происходит кристаллизация разнообразных минеральных солей в промышленных масштабах.

Химический состав рапы залива, порядок выпадения солей в осадок зависят от концентрации рапы и потому во времени значительно менялись в зависимости от количества поступавшей в залив морской воды. В мае 1980 г. авторы статьи побывали на Кара-Богаз-Голе.

Маленький АН-2 сел на песчаной полосе недалеко от пролива. А вот и перемычка. Как изменился пролив! Русло уже почти пересохло, лишь на дне немного буроватой жидкости. Уныло выглядят обнаженные камни порога. Затих шум водопада, и все своеобразие этого уголка исчезло на фоне окружающей пустыни. Жаль? Конечно, жаль. Но такое резкое вмешательство человека в природу вызвано необходимостью в каждом кубическом километре каспийской воды.

В жизни Кара-Богаз-Гола наступил новый этап. Прекращение стока в залив вызовет постепенное его обмеление, концентрирование поверхностной рапы, осаждение солей, превращение залива в сухую соляную котловину. Следует ожидать и других

изменений гидрохимических и гидрогеологических условий залива, часть которых пока нельзя предвидеть, так как происходящие здесь изменения природы не имеют аналогов. Тем пристальнее следует сейчас наблюдать за всеми изменениями, происходящими в заливе и на окружающей его территории.

Перекрытие пролива не исключает в дальнейшем строительство в теле плотины регулирующего устройства для подачи определенных количеств морской воды в залив, в случае необходимости изменения химического состава его сырьевой базы.

В связи с этим признано необходимым силами ряда институтов проводить дальнейшие комплексные исследования в районе Кара-Богаз-Гол в XI пятилетке.

### ПРОЕКТЫ ПОМОЩИ КАСПИЮ

После перекрытия Кара-Богаз-Гола очередной по целесообразности и простоте технического решения проект — отделение дамбой от моря восточных мелководий Северного Каспия.

В 1977 г. Р. В. Николаевой и Р. Е. Перселегиной были проведены расчеты для варианта трассы дамбы, проходящей от м. Бурунчук к поселку Жилая Коса, включая береговую полосу в пределах горизонтали — 26,0 м. При этом площадь отсекаемой акватории моря равна 4,6 тыс. км<sup>2</sup>.

На отделяемой части моря преобладают глубины до 1,5 м, уклоны дна очень малы. Прилегающая к морю территория — осушившееся недавно морское дно (около 10 тыс. км<sup>2</sup>), также очень пологое. Величина испарения в этом районе значительно превышает осадки в течение почти всего года. Ветровые условия таковы, что вызывают частые нагоны воды, благодаря которым затопляются значительные пространства прибрежной суши. Упомянутые выше авторы считают, что осуществление этого проекта позволит сэкономить около 7 км<sup>3</sup> воды в год, ныне уходящей на испарение.

Наиболее известный проект локального регулирования уровня Каспийского моря, детальнее всего разработанный Б. А. Аполловым, — отделение дамбой Северного Каспия и создание Северокаспийского водохранилища. По этому проекту, дамба должна идти от западного побережья Северного Каспия в 30 км южнее г. Каспийского до п-ова Бузачи. Общая протяженность дамбы — около 430 км, площадь отсекаемого ею Северокаспийского водохранилища — 76 тыс. км<sup>2</sup>. Однако в результате сооружения дамбы существенно изменится соленость Северного Каспия. По рас-

четам Е. Г. Архиповой, если принять среднюю соленость северокаспийских вод до устройства дамбы равной 5<sup>0</sup>/<sub>00</sub>, а поступающих речных вод 0,5<sup>0</sup>/<sub>00</sub>, то уже через 3—4 года средняя соленость водохранилища будет меньше 1<sup>0</sup>/<sub>00</sub>. Сооружение дамбы приведет к изменению динамики вод в водохранилище: вода будет застаиваться, изменится биология водоема. В то же время в Среднем и Южном Каспии при уменьшении объема поступающих из Северного Каспия менее соленых вод соленость возможно повысится, а значительное падение уровня моря выведет из строя основные порты.

Следует добавить, что зимой, при ограниченном обмене вод со Средним Каспием, под ледяным покровом Северокаспийского водохранилища возможно образование дефицита кислорода и возникновение заморных явлений.

Ожидаются и другие нежелательные последствия для биологической продуктивности северной части моря. В результате значительного опреснения исчезнет реликтовый комплекс моллюсков слабосоленоватых вод. Значительно ухудшатся условия нагула полупроходных рыб и молоди осетровых. Некоторые продуктивные зоны Северного Каспия останутся за трассой дамбы. Она отделит зону воспроизводства и распространения молоди осетровых от пастбищ взрослых рыб, находящихся в Среднем и Южном Каспии. Указанные причины позволяют считать сооружение дамбы, отделяющей Северный Каспий, нецелесообразным, и в настоящее время от этого проекта отказались.

К проектам стабилизации уровня Каспийского моря за счет питания водами других бассейнов относится предложение сооружения канала из Черного моря в Каспий. В последнее время этот проект весьма подробно был проанализирован Н. А. Дзядевичем, который высказывает следующие соображения.

Согласно проекту, канал забирает черноморскую воду в районе севернее Новороссийска и проходит вдоль восточного побережья Азовского моря, далее по Манычской впадине к Кизлярскому заливу Каспийского моря. Объем предполагаемой переброски составляет 60—100 км<sup>3</sup> воды в год. Существующая разность уровней между Черным и Каспийским морями — около 28 м — и благоприятный рельеф, разделяющей их территории, позволяют осуществлять подачу черноморской воды в Каспий самотеком.

Поскольку Каспийское море — замк-

нутый водоем, соли, поступающие с водами Черного моря (при стоке  $100 \text{ км}^3$  около 2 млрд т солей ежегодно), будут постепенно в нем накапливаться. Примерно через 200 лет с начала функционирования канала средняя соленость Каспия возрастет в 1,5 раза, т. е. сравняется с соленостью Черного моря. В еще более отдаленной перспективе соленость Каспийского моря достигает солености Средиземного — до  $38/_{00}$  и более, и в конце концов, Каспий превратится в почти лишенный ихтиофауны водоем — испаритель вод Мирового океана, подобный Кара-Богаз-Голу.

Средняя соленость Северного Каспия под влиянием поступающих в район Аграханского залива больших масс черноморской воды соленостью не менее  $15^0/_{00}$  уже через несколько лет возрастет примерно вдвое, и лишь затем процесс засоления здесь шел бы параллельно с медленным повышением солености всего моря в целом.

Даже относительно небольшое осолонение Северного Каспия в последние десятилетия, как мы видели, вызвало заметное ухудшение условий его биологической продуктивности. Общее повышение солености Северного Каспия в 1,5 раза приведет к сильному уменьшению зоны солоноватых вод (соленость до  $5-6^0/_{00}$ ), что обусловит окончательную деградацию фауны каспийских полупроходных рыб.

Кроме того, надо иметь в виду, что поступающие в Каспий более соленые и более плотные черноморские воды частично будут опускаться в глубинные слои Среднего Каспия, в результате чего там может снова образоваться застойная сероводородная зона, уменьшится компенсационный подъем в верхние слои глубинных вод, богатых биогенными веществами.

Таким образом, строительство канала Черное море — Каспий (как и дамбы, отделяющей северную часть моря) не обеспечивает решения главной из поставленных задач — сохранения и повышения продуктивности уникальной каспийской ихтиофауны. Напротив, этот дорогостоящий канал может в ближайшие же десятилетия стать основным фактором деградации этой ихтиофауны, а в более отдаленном будущем — и всей экологической системы Каспийского моря в целом. К тому же, берега канала, заполненного соленой водой, на всем его протяжении оставались бы безжизненными.

Все рассмотренные меры помощи Каспийскому морю следует считать не как альтернативу переброске части стока северных рек, а как вспомогательные пути снижения непроизводительных потерь во-

ды. Они не смогут полностью компенсировать растущее безвозвратное водопотребление в бассейне Каспийского моря.

Разработка проекта переброски части речного стока с севера в бассейн Каспийского моря в настоящее время подошла к стадии подготовки технико-экономического обоснования. Оно предусматривает забор воды из озер Воже, Лача, Онежского, частично из рек Сухоны и Печоры. Всю эту воду предполагается сконцентрировать в Волге и через нее подать в Каспийское море.

Однако на основании имеющихся исследований в последнее время пришли к выводу, что можно отнять в совокупности не более  $20 \text{ км}^3$  воды, а не  $40-60 \text{ км}^3$ , как ранее предполагалось. Вот эти  $20 \text{ км}^3$  воды при своевременной подаче смогли бы быть существенной помощью Каспийскому морю.

Такова ситуация. Каковы же сейчас основные научные проблемы Каспийского моря?

Прежде всего, конечно, прогноз водного и солевого баланса моря, его уровня и режима не менее чем на 30—50 лет.

Необходима также разработка прогнозов изменений экосистем Каспийского моря под влиянием ожидаемых изменений его водно-солевого режима, природных условий устьевых областей рек и других районов моря.

Важной задачей остается совершенствование методов и путей получения информации о состоянии водной среды моря и особенно сильно изменяющегося Северного Каспия.

Особое место в каспийской научной проблематике должны занять экономические вопросы. К сожалению, до сих пор в проектных и научно-исследовательских работах часто остается невыясненным, какой ущерб потерпело народное хозяйство в связи с происшедшими изменениями природных условий моря, каких изменений с точки зрения экономики следует ожидать, если уровень моря опустится еще ниже или, наоборот, поднимется. Поэтому, по существу, не с чем сопоставить затраты, необходимые для осуществления различных проектов помощи морю.

Результатом обобщения всех исследований и прогнозов состояния Каспийского моря должна быть разработка единой стратегии, позволяющей научно-обоснованно управлять его режимом.



## Приокско-Террасный биосферный заповедник

**В. А. Ковда,**

член-корреспондент АН СССР

**А. С. Керженцев,**

кандидат биологических наук

Институт агрохимии и почвоведения АН СССР

**А. С. Блистанов,**

**Л. В. Заблочная,**

кандидат биологических наук

Приокско-Террасный государственный заповедник

Министерства сельского хозяйства СССР

Для сохранения естественного разнообразия биосферы, ее богатейшего генетического фонда для науки и практики будущего необходимо взять под защиту наиболее типичные естественные территории в каждой биоклиматической зоне Мира. С этой целью в рамках проекта № 8 программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (МАБ) создается мировая сеть биосферных заповедников. Уже 162 биосферных заповедника в 40 странах получили дипломы ЮНЕСКО, удостоверяющие их статус эталонов биосферы.

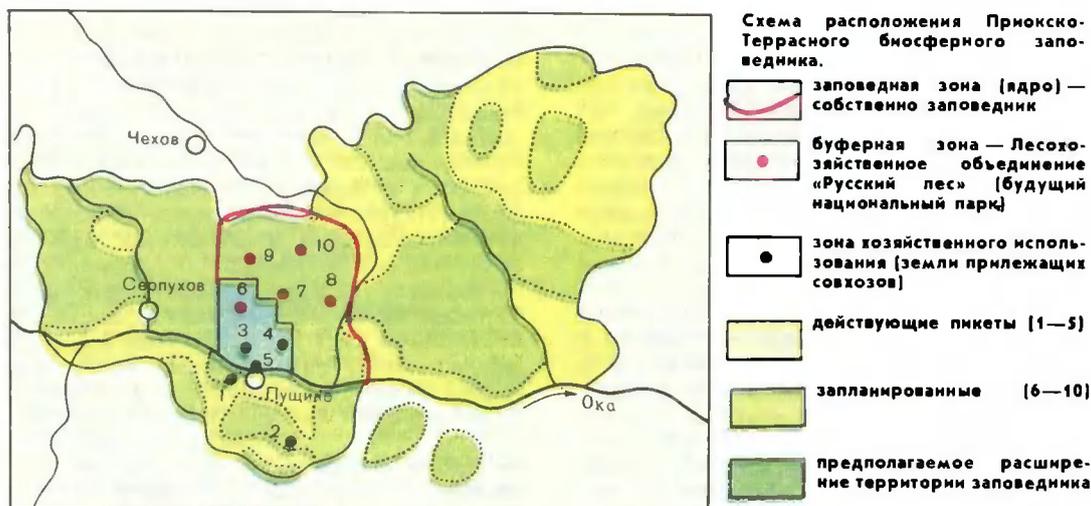
Биосферные заповедники — это строго охраняемые, исключенные из сферы хозяйственного пользования естественные территории наиболее типичных биотических регионов Земли, образующие в совокупности мировую сеть эталонов биосферы, объединенных единством целей, уровня и обмена информацией.

В числе первых семи советских биосферных заповедников утвержден Приокско-Террасный государственный заповедник Министерства сельского хозяйства СССР в комплексе с Пущинской биосферной станцией Института агрохимии и почвоведения АН СССР.

Приокско-Террасный заповедник не случайно включен в число первых биосферных заповедников СССР. Он расположен в самом центре Европейской территории Советского Сюза, среди одного из крупнейших лесных массивов Подмосковья, на левом берегу р. Оки, которая в этом районе служит естественным рубежом между под-

зонами хвойно-широколиственных и широколиственных лесов. В Приокско-Террасном заповеднике уже более тридцати лет проводятся непрерывные наблюдения и исследования эталонных участков природы, что особенно ценно для организации экологического мониторинга. На противоположном берегу Оки стоит г. Пущино — Научный центр биологических исследований АН СССР, специалисты которого принимают участие в комплексных исследованиях по программе экологического мониторинга. Крупные города и промышленные центры (Москва, Рязань, Тула, Калуга) находятся за пределами 100 км, что соответствует критериям ЮНЕСКО к размещению биосферных заповедников. Природа заповедника представлена типичными и уникальными видами флоры и фауны центра Русской равнины.

Территория биосферного заповедника должна иметь три зоны: заповедную (ядро), буферную и зону типичного хозяйственного использования. Приокско-Террасный государственный заповедник (площадь 5 тыс. га) выполняет роль ядра биосферного заповедника. Он полностью исключен из сферы хозяйственного использования, строго охраняется. Буферной зоной, предохраняющей ядро от антропогенных воздействий, служат массивы Опытного-производственного лесохозяйственного объединения «Русский лес». Это будущий национальный парк площадью около 75 тыс. га. Его территория представлена естественными лесны-



ми ландшафтами с минимальным хозяйственным воздействием (рубки ухода, санитарные рубки, рекреация). К зоне типичного хозяйственного использования относятся земельные угодья прилежащих совхозов. Таким образом, общая площадь биосферного заповедника в рамках трех зон — около 100 тыс. га.

На биосферные заповедники, в том числе и на Приокско-Террасный, возложено выполнение следующих задач:

- сохранение и восстановление типичных экосистем, их генетического фонда, а также уникальных и редких видов, занесенных в «Красную Книгу СССР»;
- наблюдение естественной динамики природных экосистем и их компонентов (биоты, почв, вод, климата), т. е. проведение экологического мониторинга;
- изучение влияния антропогенных факторов на изменение естественного состояния природной среды заповедника;
- природоохранное просвещение, обучение и подготовка кадров в области охраны природы и экологического мониторинга.

Большая часть поставленных ЮНЕСКО задач выполнялась заповедником в течение всего периода его существования. Новым разделом работ является организация экологического мониторинга. Кроме того, Приокско-Террасный заповедник в комплексе с Пущинской биосферной станцией и Центрально-Черноземный заповедник с Курской экспериментальной базой Института географии АН СССР утверждены в качестве модельных биосферных заповед-

ников. Модельные заповедники, обладающие большим научным потенциалом академических учреждений, должны выполнять ряд дополнительных функций: разработка и апробация комплексных программ экологического мониторинга, испытание новых методов, приборов и систем наблюдения за изменением компонентов природной среды для последующего внедрения их во всех биосферных заповедниках СССР.

Программа комплексных исследований осуществляется научными коллективами Приокско-Террасного заповедника, Института агрохимии и почвоведения АН СССР (Биосферная станция, Экспериментальная полевая станция и Спектрально-аналитическая лаборатория — Пущино), Института эволюционной морфологии и экологии животных АН СССР им. А. Н. Северцова (Москва), Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды (Госкомгидромета СССР) и других учреждений. Биосферная станция координирует весь комплекс исследований по программе экологического мониторинга на территории Приокско-Террасного биосферного заповедника.

Главную задачу биосферного заповедника — сохранение и изучение естественной динамики экосистем и их генетического фонда — решают в основном штатные сотрудники Приокско-Террасного заповедника на его территории.

Заповедная зона Приокско-Террасно-

го биосферного заповедника представлена типичными для центра Русской равнины и уникальными экосистемами. Эта территория расположена на левобережных облесенных террасах долины р. Оки. Нижние террасы Оки в южной части территории перекрыты песчаными холмами и валами, которые образуют громадные дуги типа барханов, обращенные выпуклостью в сторону господствующих ветров. Местами песчаные валы ограждают обширные понижения (долы), периодически затопляемые полыми водами Оки. Карстовые провалы и воронки различных форм и размеров, часть которых заполнена водой, придают своеобразие ландшафтам.

В почвенном покрове территории преобладают подзолистые и дерново-подзолистые почвы песчаного и супесчаного состава. В долах, заливаемых полыми водами, сформировались богатые гумусом аллювиально-луговые почвы, а там, где близко к поверхности залегают известняки, встречаются мощные дерново-карбонатные почвы (рендзины), напоминающие окраской и структурой черноземы.

Богат и разнообразен растительный покров заповедника. Значительную часть площади занимают сосновые леса, характерные для Центральной России. Вершины песчаных бугров и валов занимают стлавие редкими в Подмосковье мшисто-лишайниковые боры с серым сухим покровом из лишайников цетрария и кладония. Всколленные песчаные террасы покрыты светлыми высокоствольными зеленомошными сосняками (ландышевыми, черничными, брусничными) со сплошным ковром из зеленых мхов. Нижние террасы сосняков представлены степными видами: вероникой седой, пазником крапчатым, геранью кроваво-красной, раkitником русским, дроком красильным и др. На средних и верхних террасах преобладают травяные и сложные боры с примесью широколиственных пород. На заболоченных участках с дерново-глебовыми почвами встречаются долгомошные и сфагновые сосняки. Известный знаток окской флоры П. А. Смирнов объясняет видовое разнообразие и богатство приокских боров их древним происхождением. Начало их формирования он относит ко времени отступления Днепровского оледенения.

В заповеднике сохранились островки дубрав с орешником в подлеске и снытью, осокой волосистой, зеленчуком. Дуб и липа входят в состав всех типов сосновых и сосново-еловых лесов. По узким долинам рек и ручьев встречаются мощные ели.

В результате вырубki коренных дубрав и сосняков на верхних террасах и водоразделе разрослись местами березовые и осиновые леса.

На территории заповедника имеются уникальные участки степной флоры. Здесь в лесной зоне, на значительном удалении от основного ареала, произрастает целый комплекс (более 50 видов) растений, характерных для степной зоны: типчак, ковыль перистый, степная тимофеевка, степная вишня, козелец пурпурный, зопник, полынь австрийская, тюльпан Биберштейна и многие другие. Типчаковые и ковыльные ассоциации встречаются в основном на верхней пойме и первой надпойменной террасе. Установить происхождение этих уникальных островков степной растительности — одна из задач, стоящих перед исследователями.

Совсем недалеко от степных участков в понижениях среди сосняков встречается болота верхнего типа, где растет сфагновый мох с клюквой, росянкой, багульником.

К достопримечательностям окской флоры относятся весьма редкие на Европейской территории СССР горные виды — реликты ледникового периода: осока пригупленная, зубянка тонколистная и другие.

Всего на территории заповедника зарегистрировано более 800 видов высших растений, из них свыше 60 — редких для данного региона, а потому подлежащих особой охране.

Богат и разнообразен животный мир заповедника. Здесь обитают 130 видов птиц и 53 вида млекопитающих. Для фауны этой территории, как и для всей Центральной России, характерно смешение видов, свойственных широколиственным лесам (хохлатая синица, зеленый дятел, желтогорлая мышь, европейская рыжая полевка, орешниковая соя, темный хорь) и таежным зонам (глухарь, рябчик, крапивник, чиж, заяц-беляк). На лесных полянах встречаются обитатели открытых пространств: коростель, чекан-каменка, обыкновенная полевка, заяц-русак. Из хищных млекопитающих здесь обычны лисица, лесная куница, барсук, горностай, ласка. Изредка из соседних Тульской и Рязанской областей сюда заходят волк и рысь. Со стороны Оки временами появляются выдра и норка. Довольно высока численность копытных: лося, кабана, косули. Из мелких млекопитающих наиболее многочисленны обыкновенная бурозубка и европейская рыжая полевка.

До организации заповедника (в 1945 г.) его территория периодически подвергалась хозяйственному воздействию

(сплошные и выборочные рубки сосняков). К настоящему времени только благодаря заповедному режиму естественная структура сосняков, нарушенных выборочными рубками, полностью восстановлена.

В ходе экологической сукцессии вместе с растительным покровом на вырубках постепенно возрождается и структура животного населения, в частности мелких млекопитающих. Однако в каждом типе леса этот процесс проходит по-своему. Например, в ходе восстановления сложных сосняков наблюдалась стадия временного господства лугового вида (обыкновенная полевка), а возобновление дубрав сопровождалось преобладанием лесного вида (желтогорлая мышь).

На территории заповедника ведутся работы по восстановлению видов, пострадавших от антропогенного воздействия. Расселяют редчайшие для этого региона растения (степной тюльпан и тонколистная зубянка) и истребленные ранее виды животного населения (речной бобр, косуля, кабан).

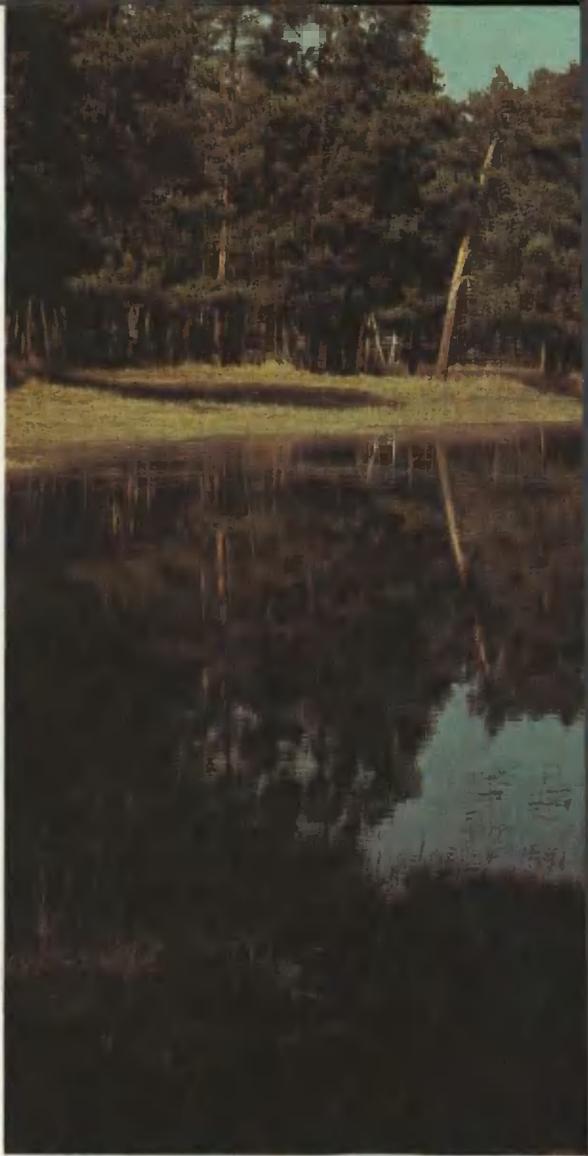
В Приокско-Террасном заповеднике в 1948 г. организован Центральный зубровый питомник — научный и методический центр работы по восстановлению зубра, крупнейшего зверя широколиственных и смешанных лесов, полностью истребленного в его естественных местах обитания в 20-х годах нашего века и занесенного в «Красную Книгу» Международного союза охраны природы и «Красную Книгу СССР». Главная задача зубрового питомника — восстановление, сохранение и расселение зубра на территории Советского Союза. К моменту организации питомника в СССР было всего восемь зубров, содержавшихся в Беловежской Пуще. Сейчас, в основном благодаря деятельности Приокско-Террасного заповедника, общая численность зубров в стране достигла 700 голов, большая часть из них обитает на свободе в лесах Мещеры, Белоруссии, Литвы, Кавказа, Карпат и других районов его бывшего распространения. Южное Подмосковье отвечает экологическим требованиям зубра: тут и обилие, естественных кормов (дуб, липа, осина, дубровное широколистное), и обширные площади лесных массивов, позволяющие содержать молодняк зубра на свободе в соседних с заповедником лесничествах «Русского леса», а также удобство вывоза молодых зубров для расселения в различные районы страны. С учетом этих обстоятельств и решено было именно здесь организовать Центральный зубровый питомник. Разработанная и осуществляемая

заповедником система мер по восстановлению зубров в СССР рекомендована и для других редких видов крупных животных. По данным последнего учета на территории биосферного заповедника обитают 70 бобров, 150 косуль, 300 кабанов. Наибольшим по площади заповедникам приходится учитывать значительную, изменчивость плотности животного населения по годам. В Приокско-Террасном заповеднике, например, плотность лося изменялась от 4 до 90 голов на 1000 га лесной площади. В конце 50-х годов при плотности более 6 — 10 голов на 1000 га лось, объедая подрост древесных пород, подавил естественное возобновление лесной растительности. В последние годы в границах заповедной зоны численность кабана достигла 100 голов, что в 4 — 5 раз превышает допустимую плотность этого вида. Все это приводит к нарушению экологического равновесия.

В целях предупреждения необратимых изменений растительности в заповеднике разработаны и применяются методы регулирования распределения и численности копытных, пригодные для использования и на других заповедных территориях. Путем создания подкормочных пунктов и посадки кормовых растений на хозяйственной территории копытных (кабан, олень) отвлекают с территории заповедника к его границам, где их отстреливают. План отстрела устанавливается на основании ежегодных учетов численности животных в заповеднике.

И все же сохранить в естественном состоянии весь комплекс природных экосистем и редкие виды при малой площади заповедника весьма трудно. Приходится сожалеть, что при организации заповедника в него не вошли луга окской поймы и смежные с ними места произрастания редчайших для Европейской территории СССР растений — реликтов ледникового периода (осока притупленная, зубянка тонколистная и др.). Еще не поздно включить в заповедную зону прилегающие к ней луговые участки окской поймы и лесные урочища водораздельного плато, входящие в состав буферной и хозяйственной зон биосферного заповедника.

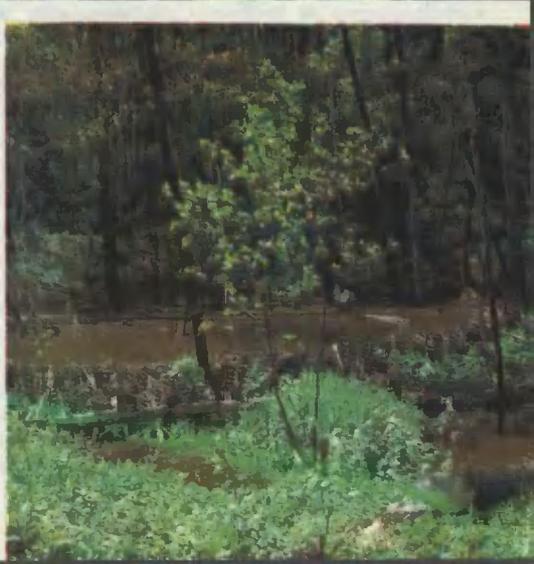
Второй по значимости задачей биосферного заповедника является экологический мониторинг — комплекс наблюдений за изменением природной среды под влиянием естественных и антропогенных факторов. Исследования по программе экологического мониторинга осуществляются на



Вверху: еловый лес (слева) и доли в половодье (справа).  
Внизу слева направо: дубрава в юго-восточной части заповедника; зубр и бобровая плотина на р. Таденке.

Здесь и далее фото Е. В. Арбузова.





территории всех трех зон биосферного заповедника.

В системе комплексного экологического мониторинга принято выделять три самостоятельных раздела: геофизический, геохимический, биологический. Каждый раздел имеет свой специфический набор параметров и методов. Однако полную информацию о состоянии среды и ее изменениях может дать только сопряженное комплексное использование всего арсенала измерений. (Результаты некоторых исследований приведены в научных сообщениях на с. 84—89.)

**Геофизический мониторинг** предусматривает наблюдения за динамикой метеорологических элементов, радиационным, тепловым и водным балансом территории, спектральными характеристиками солнечного излучения, особенно в ультрафиолетовой области, интегральной мутностью атмосферы, ее влажностью и аэрозольной составляющими, концентрацией аэрозолей.

**Геохимический мониторинг** — наблюдения за изменением химического состава воздуха, атмосферных осадков, речных и грунтовых вод, почва, растительных и животных тканей. Его задача — проследить пути миграции веществ, в том числе загрязняющих, и их трансформацию в природных экосистемах.

**Биологический мониторинг** — наблюдения за временной и пространственной изменчивостью биологических компонентов экосистем. Биота — самый чувствительный аппарат, реагирующий на естественные и антропогенные факторы. Она дает прямую информацию о реакции организмов, сообществ, экосистем на факторы воздействия. Основной принцип биологического мониторинга заключается в детальном учете исходного состояния биоты на определенный момент (точка отсчета) и последующих регулярных наблюдениях за отклонениями от этого состояния. Проводимые параллельно и согласованно геофизические и геохимические наблюдения позволяют выявить причины изменений биоты и ее отдельных компонентов.

Биосферные заповедники являются идеальными полигонами для организации глобального экологического мониторинга. Их мировая сеть в совокупности должна представлять практически всю биосферу Земли. Точно так же природная среда каждого биосферного заповедника должна

быть представлена совокупностью типичных для данной территории экосистем, наблюдения за которыми позволят определить тенденции изменений всей природы биосферного заповедника. Программа биологического мониторинга предусматривает три уровня наблюдений за состоянием биоты: 1) экологический регион заповедника; 2) типичные экосистемы, представляющие природную среду биосферного заповедника; 3) отдельные компоненты биоты (растения, животные, микроорганизмы).

Негативное влияние человека на природу нашего экологического региона началось с момента его индустриального освоения. В первой половине XVII в. (1632 — 1637) в районе г. Тулы на р. Тулице был построен первый доменный и железоделательный завод в Московском государстве, а в последующий период (приблизительно до 1725 г.) в приокском районе возникло еще более десятка заводов. Лес — единственный источник древесного угля, незаменимого в доменном производстве того времени, оказался под угрозой истребления. Быстрое сокращение площади лесов явилось одной из причин перемещения во второй четверти XVIII в. центра русской металлургии на Урал. Однако сведение приокских лесов продолжалось до конца XIX в. (пожары, вырубки, распашка). Постепенное увеличение площади лесов началось только во втором десятилетии XX в.

Для изучения динамики лесистости территории мы выбрали картографический материал разных лет съемки, выбрали произвольный полигон с наиболее заметным изменением лесистости площадью 2 млн га между Тулой, Калугой и Серпуховом и подсчитали площади лесов в процентах от общей площади (лесистость). В результате оказалось, что за 100 лет лесистость региона изменялась следующим образом: 1871 г. — 20%, 1928 г. — 30, 1941 г. — 40, 1951 г. — 80, 1973 г. — 45%. Резкое увеличение лесистости в 1951 г. объясняется тем, что во время войны и в первые послевоенные годы часть сельскохозяйственных земель не обрабатывалась и лес занял бывшие пашни, сенокосы, пастбища. Однако расширение площади лесов происходило за счет вторичных низкокачественных березово-осиновых насаждений. Коренные дубравы, сосняки и ельники сохранились на незначительных площадях.

Однако в целом площади сосновых

лесов значительно расширились. Они занимают не только боровые пески речной долины, но и подзолистые почвы склонов, сформировавшиеся когда-то под ельниками. Это произошло благодаря способности сосны быстро восстанавливаться и занимать новые площади на гарях, так как хвойно-широколиственные леса выжигались местным населением для использования под пашню.

За изменениями отдельных компонентов биоты ведутся наблюдения на стационарных пикетах площадью не менее 1 га каждый. Уже функционируют четыре пикета в заповедной и буферной зонах биосферного заповедника. Запланировано создание в 1981 — 1982 гг. еще пяти пикетов, а также одного гидропоста.

Стационарные пикеты оснащены измерительной аппаратурой для наблюдения за метеорологическими параметрами, тепловым, водным и радиационным балансом, уровнем загрязнения природных компонентов. Например, с помощью лидара (лазерного локатора) удалось установить максимальную концентрацию аэрозолей на высоте 2 км, а также факт вторичного загрязнения атмосферы после прохождения над лесом газовой волны.

Наибольшая опасность загрязнения приземных слоев атмосферы возникает от низких источников выбросов при температурных инверсиях, когда затруднено рассеяние загрязняющих веществ. Метеорологические наблюдения на разных высотах позволили установить корреляцию между повторяемостью приземных температурных инверсий и некоторыми метеорологическими элементами. Наибольшая повторяемость инверсий — в ночные часы при малооблачной погоде, в дневные — при пасмурной. Повторяемость их возрастает при штиле и слабых ветрах южной четверти (юго-восточной, южной и юго-западной).

Химический состав атмосферных осадков является показателем уровня загрязнения атмосферы. Массовое поступление в атмосферу от сжигания топлива сернистого газа привело к тому, что за последние пять лет кислотность осадков на территории заповедника повысилась на 1,5 единицы рН. В особо неблагоприятных ситуациях рН осадков достигала 3,5—4 единиц. Повышение кислотности осадков в северных районах вызывает закисление почв, нарушение геохимического равновесия. В наших условиях средней полосы

почвы обладают высокой буферностью и слабо реагируют на кислые осадки.

О реакции растений на загрязнение воздуха говорят морфологические нарушения у древесных растений, и в первую очередь у ели, дуба, липы — хлорозы и некрозы листьев и хвои, оголение ветвей. С помощью люминесцентного анализа листовой ткани дуба в 1978 г. удалось обнаружить реакцию растений на загрязнение воздуха до наступления морфологических нарушений. Это один из методов раннего предупреждения опасности.

Особенно чутко реагирует на загрязнение атмосферы мохово-лишайниковая растительность (лихенофлора), что дает возможность использовать ее в качестве индикатора загрязнения тяжелыми металлами.

Для оценки качества речных вод составлена карта фонового химического стока Верхнеокского бассейна. Все отклонения от фона расцениваются как антропогенные нарушения. Даже обычный анализ солевого состава речных вод в этом случае может дать информацию о степени антропогенного изменения их качества.

Наиболее массовым загрязнителем вод Оки являются нефтепродукты, поступающие с мочевых пунктов многочисленных автохозяйств, речного транспорта, со сбросами шахтных вод и стоками промышленных предприятий. Обоснованную тревогу гидробиологов вызывает эксплуатация на Оке удобного и быстрого теплохода «Заря». Его слишком высокая волна разрушает берега и, главное, вызывает массовую гибель молоди рыбы. Для сохранения экологического равновесия следует заменить этот тип судна на более экологичный.

Кроме научно-исследовательской и природоохранной работы, сотрудники Приокско-Террасного заповедника и Пущинской биосферной станции ведут большую пропагандистскую работу по охране окружающей среды. Ежегодно заповедник посещает около 20 тыс. экскурсантов, в том числе более 300 иностранных специалистов различного профиля. В музее природы заповедника и на специальных экскурсионных маршрутах их знакомят с типичными и уникальными природными комплексами, редкими видами флоры и фауны, с методами экологического мониторинга, основами советского природоохранного законодательства. Многочисленные экскурсии по специальным асфальти-



Вверху: русский рябчик — один из представителей окской степной флоры [слева] и допы в разгар цветения трав [справа]. Внизу слева направо: орхидея венерин башмачок, зубянка тонколистая — реликт ледникового периода и тюльпан Биберштейна — редкое растение заповедника.



рованными дорожкам по границе заповедника не нарушают его режима. Здесь ежегодно проходят производственную и учебную практику 15—20 студентов Московского университета и других вузов страны. На базе Биосферной станции и школьного лесничества «Лесовичок» по решению совета Научного центра биологических исследований АН СССР и Пущинского горисполкома организуется Детская экологическая станция, где школьники города смогут получить от квалифицированных специалистов основы экологических знаний и практические навыки по охране природы.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Смирнов П. А. ФЛОРА ПРИОКСКО-ТЕРРАСНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗАПОВЕДНИКА. — Труды Приокско-Террасного государственного заповедника. М., 1958.

Ковда В. А. БИОСФЕРА И ЧЕЛОВЕЧЕСТВО. — В кн.: Биосфера и ее ресурсы. М.: Наука, 1971.

Ковда В. А., Керженев А. С. КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ПУЩИНСКОМ БИОСФЕРНОМ ЗАПОВЕДНИКЕ. — В кн.: Биосферные заповедники. Л.: Гидрометеоиздат, 1977.

ЭКОСИСТЕМЫ ЮЖНОГО ПОДМОСКОВЬЯ. М.: Наука, 1979.



Геофизика

## Лидары в экологическом мониторинге

Оперативный мониторинг атмосферы на территории Приокско-Террасного биосферного заповедника осуществляется с помощью лидара<sup>1</sup> — лазерного локатора, разработанного в Центральной аэрологической обсерватории Госкомгидромета СССР. Основанный на принципе импульсной локации различных атмосферных компонентов в оптическом диапазоне длин волн, этот метод позволяет по спектрам комбинационного рассеяния света практически мгновенно проводить дистанционный бесконтактный анализ газового и аэрозольного состава нижней атмосферы.

С помощью лидара, установленного на автомобиле, можно оперативно исследовать изменения в химическом составе шлейфов выбросов на пути их распространения от источника. Такие измерения, проводимые на большой территории, позволяют выявить основные закономерности фотохимических процессов в атмосфере и влияние на них как метеороло-



Передвижная установка для лазерного зондирования атмосферы. На этом лидаре можно регистрировать высотный профиль концентрации аэрозолей в атмосферном столбе высотой 2 км и проводить бесконтактный спектральный анализ газообразных примесей на расстоянии до 300 м; угол обзора лидара 90°.

гических факторов, так и характера подстилающей поверхности.

В совместных экспериментах, которые проводились сотрудниками Центральной аэрологической обсерватории и Биосферной станции Института агрохимии и почвоведения АН СССР в течение трех лет (1977—1979), установлена закономерность вертикальной стратификации аэрозолей. Максимум

концентрации наблюдается в приземном слое и на высоте около 2 км. Выше этого уровня концентрация аэрозолей резко снижается.

Дистанционный спектральный анализ газового состава воздуха над лесом и открытым пространством позволил выявить высокую газопоглотительную способность лесного полога. Наряду с этим был подтвержден эффект вторичного загрязнения воздуха лесной растительностью, который впервые обнаружил в 1968 г. французский исследователь Л. Кормис. Он установил, что растения, поглотив сернистый газ, затем выделяют его в атмосферу вместе с сероводородом. В 1976 г. В. С. Николаевский (Всероссийский научно-исследовательский и проектно-технологичес-

<sup>1</sup> Подробнее об этом новом классе приборов см.: Лидар для анализа промышленных загрязнений. — Природа, 1979, № 5, с. 108.

кий институт химизации сельского хозяйства Министерства сельского хозяйства РСФСР) дополнительно установил<sup>2</sup>, что кроме сернистого газа и сероводорода растения выделяют в этом случае еще и канцероген — сероуглерод, а поглощая аммиак, они вновь выделяют в атмосферу и аммиак, и окислы азота. Следовательно, растительность может производить вторичное загрязнение атмосферы, причем веществами более токсичными.

Выполненный комплекс измерений показал перспективность использования лидаров для широкого круга исследований по переносу и трансформации вредных газообразных примесей в атмосфере. Чтобы этот метод можно было эффективно применять на станциях мониторинга и в научно-исследовательских учреждениях, необходимо организовать разработку промышленной аппаратуры и серийный выпуск лидаров различного назначения.

В. А. Торговичев, Т. Н. Климова

Москва

Н. Н. Фадеев

Пушино



Гидрохимия

## Гидрохимические исследования в бассейне Верхней Оки

В бассейне Верхней Оки Биосферная станция Института агрохимии и почвоведения АН СССР ведет гидрохимический мониторинг, одна из задач которого — выявить степень антропогенного воздействия на речные воды.

Рост использования речных вод для хозяйственных и промышленных нужд внес значительные коррективы в естественный процесс формирования химического состава при-

родных вод. Вполне очевидно, что выявить уровень загрязнения рек невозможно без знания их естественного (фонового) состава.

Обычно наблюдения за состоянием речных вод осуществляются по данным гидрометрических постов, регулярно отбирающих пробы для химического анализа. Однако таких постов немного, расположены они в основном на крупных реках, химический состав которых уже претерпел существенные изменения. Это вызвало необходимость специальных гидрохимических съемок, на основе которых была подготовлена карта фонового состава вод бассейна Верхней Оки (до створа г. Пушкино с последующей интерпретацией полученных результатов).

Территория Верхнеокского бассейна явилась очень хорошим полигоном для отработки методики картирования, которая была совместно разработана сотрудниками кафедры гидрологии суши географического факультета Московского государственного университета и Биосферной станции. Работы проводились во время зимней и летней межени, когда особенно ощутима антропогенная нагрузка на реку (в эти гидрологические периоды сток реки минимален, следовательно, уменьшается степень разбавления сбрасываемых промышленно-бытовых вод). Бассейн Верхней Оки был разбит на районы с однородным составом питающих реку водоносных горизонтов, отдельно выделены районы крупных городов и транзитные участки рек. Пункты отбора проб для определения естественного гидрохимического фона намечались на малых реках, не имеющих крупных населенных пунктов на водосборе. Чтобы исключить неполное вскрытие водоносных горизонтов, площадь бассейна этих рек должна быть не менее 200 км<sup>2</sup>. Отбор проб для выявления антропогенного фактора формирования химического состава вод производился в пунктах выше и ниже городов, в устьях слияния крупных рек и в замыкающих створах рек. Для определения качества воды использовались такие парамет-

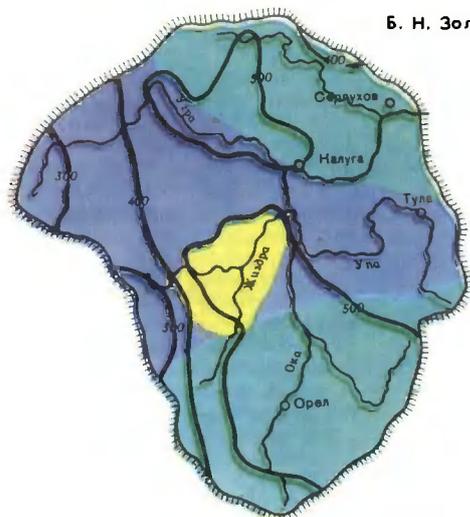
ры, как величина минерализации и соотношения между содержанием основных ионов солевого состава вод. Преимущество использования общего солевого состава перед другими показателями качества вод состоит в том, что для этих ионов уже хорошо разработаны вопросы генезиса, накоплена наибольшая информация и, что также немаловажно, методы химического анализа этих ионов наименее трудоемки.

Сравнение составленной нами фоновой карты с картой современного химического состава вод Оки позволило дать качественные и количественные характеристики изменений в общем солевом составе под влиянием антропогенного фактора.

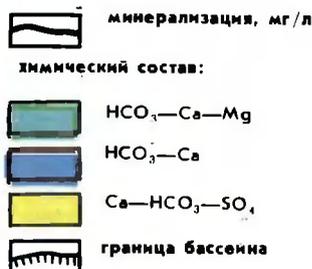
Фоновая минерализация речных вод бассейна составляет 300—600 мг/л. Химический состав довольно однородный. Преобладают воды с гидрокарбонатно-кальциевой ( $\text{HCO}_3^-$  — Ca) гидрохимической фазией, которая сменяется на отдельных участках на гидрокарбонатно-кальциево-магниевую ( $\text{HCO}_3^-$  — Ca — Mg) и кальциево-гидрокарбонатно-сульфатную (Ca —  $\text{HCO}_3^-$  —  $\text{SO}_4$ ) — в зависимости от локальных природных условий формирования химического состава вод. На этом естественном фоне выделяются участки Верхней Оки и ее притоков вблизи крупных городов и промышленных комплексов. Здесь минерализация увеличивается до 800—1000 мг/л, а в воде р. Упы ниже Тулы минерализация более 1,5 г/л. Изменяется и соотношение ионов: в 3—5 раз увеличивается содержание сульфатных, хлоридных и натриевых — именно эти ионы вносятся в реки в наибольшем объеме с промышленными и бытовыми стоками! Яркий пример — сульфатно-кальциево-гидрокарбонатная фацция ( $\text{SO}_4$  — Ca —  $\text{HCO}_3$ ) той же р. Упы ниже Тулы:

<sup>1</sup> Заславская М. Б., Сороковиков В. А., Керженцев А. С. Гидрохимические исследования в системе экологического мониторинга. — В сб.: Географические исследования для целей социалистического природопользования. Л., 1980.

<sup>2</sup> Николаевский В. С., Казекина Л. П., Видякина О. А. Транслокация серы при поглощении сернистого газа листьями. — В сб.: Растения и промышленная среда. Киев: Наукова думка, 1976.



Карта минерализации и химического состава речных вод бассейна Верхней Оки в меженьный период. Отражая фоновый гидрохимический режим рек Верхнеокского бассейна, эта карта в последующие годы сможет служить основой для определения уровня загрязнения речных вод этого района.



соотношение преобладающих ионов здесь резко отличается от фонового. Установлено также, что по мере увеличения антропогенной нагрузки возрастает и величина отношения концентраций ионов натрия и калия. Этот коэффициент также используется как критерий загрязненности рек.

В последние годы увеличился и ежегодный вынос солей из бассейна Верхней Оки. Так, по сравнению с 50-ми годами ионный сток в створе г. Пущино возрос на 20%. Для среднего по водности года с 1 км<sup>2</sup> бассейна Верхней Оки выносятся реками 40—50 т солей, а для бассейна р. Упы эта величина выросла до 60—70 т/км<sup>2</sup> в год<sup>2</sup>.

Проведенные исследования позволили дать характеристику современного состояния качества речных вод бассейна Верхней Оки, выделить участки с различной степенью антропогенной нагрузки и источники загрязнения. В дальнейшем предполагается проверить воз-

можность применения предложенной методики с использованием других характеристик химического состава воды — органических и биогенных веществ, непосредственно определяющих ее качество.

**М. Б. Заславская**,  
кандидат географических наук  
Москва

**В. А. Сороковиков**  
Пущино



Экология

### Лишайники — индикаторы загрязнения среды тяжелыми металлами

Спектрально-аналитическая лаборатория Института агрохимии и почвоведения АН СССР совместно с Таллинским ботаническим садом АН ЭССР выполняет по программе экологического мониторинга работы с применением метода лихеноиндикации<sup>1</sup>. Этот метод в качестве растения — индикатора загрязнения окружающей среды использует лишайники, в особенности эпифитные<sup>2</sup> виды, которые отличаются чрезвычайно высокой чувстви-

тельностью к составу атмосферы: всем своим слоевищем они активно поглощают атмосферные осадки с растворенными в них химическими элементами и сохраняют эти вещества в организме на протяжении всей жизни и даже после отмирания<sup>3</sup>. Именно эту накопительную функцию лишайников до недавнего времени использовали многие специалисты для оценки состояния окружающей среды. Мы сейчас осуществляем комплексное изучение флоры лишайников, которое включает определение числа их видов на контролируемой территории, их соотношения, химического состава. Такое систематическое исследование было проведено, в частности, в сосновых лесах и дубравах Приокско-Террасного биосферного заповедника и в заповедниках и национальных парках Эстонии.

Лихенофлора Приокско-Террасного заповедника представлена 45 видами, в том числе 22 видами, произрастающими на сосне. В аналогичных типах

тених, главным образом на стволах и ветвях: питательные вещества получают не из растения-хозяина, как паразиты, а из окружающей среды.

<sup>3</sup> См. также: Лишайники обнаруживают загрязнение среды. — Природа, 1980, № 6, с. 116.

От лат. lichen — лишайник.

<sup>2</sup> Эпифиты — растения, поселяющиеся на других рас-

<sup>2</sup> Заславская М. Б., Сороковиков В. А., Шашков С. Н. Возможность использования данных по основному солево-му составу для изучения степени антропогенного воздействия на речные воды. — В сб.: Опыт и методы экологического мониторинга. Пущино, 1978.



Внешний вид слоевища лишайника *Cetraria islandica* в условиях нормальной (слева) и загрязненной (справа) атмосферы. При загрязнении отмечается угнетенное состояние и сильное повреждение слоевища в виде коричневых некротических пятен.

сосновых насаждений Эстонии обнаружено до 69 видов лишайников. Следовательно, лишайнофлора Приокско-Террасного заповедника много беднее, в ней полностью отсутствует типичный представитель сосновых лесов — эпифитный лишайник рода *Alectoria*. Кроме того, стволы деревьев в лиственных лесах Приокско-Террасного заповедника лишь незначительно покрыты лишайниками, слоевища которых к тому же сильно нарушены.

Хотя содержание токсичных металлов в атмосферных осадках существенно меняется во времени и в пространстве (в 100—1000 раз), можно полагать, что в среднем с атмосферными выпадениями (твердыми и жидкими) в экосистемы Пущинского региона ежегодно поступает на 1 км<sup>2</sup> поверхности 72 кг цинка, 6 кг меди, 28 кг свинца, 0,007—0,1 кг ртути и кадмия. Лишайники благодаря своим накопительным свойствам характеризуются значительно большими, по сравнению с высшими травянистыми растениями тех же мест, концентрациями этих элементов: Zn — в 2 раза,

Cu — в 2—5 раз, Hg, Cd, Pb — более чем в 5 раз. Установлено также, что по сравнению с напочвенными лишайниками эпифитные виды еще в большей степени накапливают различные элементы, в особенности Zn, Mn, Cu, Hg, Pb, Cd.

Для изучения геохимической роли лишайников в миграции тяжелых металлов и микроэлементов были вычислены коэффициенты их биологического поглощения. Они рассчитываются как отношение содержания элемента в лишайнике к его концентрации в корнеобитаемом слое — для напочвенных видов или в субстрате (скальные обнажения, кора деревьев и т. п.) — для эпифитов. Использование коэффициентов биологического поглощения дает возможность получить относительную картину накопления элементов в различных видах лишайников одного

места обитания, что помогает выявить наиболее представительные виды — концентраторы того или иного элемента. Расчет показал, что напочвенные лишайники имеют более постоянный ряд поглощения (в скобках указаны коэффициенты поглощения): Mn (0,4) — Ni (0,5) — Fe (0,8) — Cr (1,1) — Cu (1,6) — Zn (3,2), тогда как эпифиты резко отличаются даже в пределах одного вида. Например, для *Hypogymnia physodes* ряд поглощения различен в зависимости от субстрата. На осине: Zn (0,8) — Cd (0,8) — Ni (1,1) — Cu (1,8) — Hg (3,5) — Fe (5,0) — Cr (7,0) — Mn (30,0). На сосне: Hg (1,3) — Mn (1,4) — Fe (2,0) — Cd (2,4) — Cr (2,5) — Ni (2,5) — Zn (3,5) — Cu (10,0).

Один и тот же вид лишайника в условиях атмосферного загрязнения содержит в зависимости от возраста разное количество элементов. С другой

#### Зависимость химического состава лишайника *Hypogymnia physodes* от места обитания

| Районы отбора проб<br>(сосновые боры) | Элементы, мг/кг сухого вещества |    |    |    |      |      |
|---------------------------------------|---------------------------------|----|----|----|------|------|
|                                       | Zn                              | Cu | Ni | Pb | Cd   | Hg   |
| г. Пущино (Московская обл.)           | 84                              | 4  | 6  | 12 | 0,3  | 0,20 |
| д. Довин (Новгородская обл.)          | 89                              | 3  | 4  | 18 | 0,2  | —    |
| д. Новоселки (Псковская обл.)         | 153                             | 4  | 10 | 19 | 0,7  | —    |
| п. Эппику (Эстонская ССР)             | 96                              | 6  | 7  | 5  | 0,05 | —    |
| Ляхемаа парк (Эстонская ССР)          | 94                              | 4  | 10 | 7  | 0,06 | 0,15 |

сторонны, в условиях чистой атмосферы, где имеет место только глобальный перенос загрязнителей, даже разновозрастные экземпляры лишайников характеризуются примерно одинаковым химическим составом. Чтобы данные лишайноиндикации были достаточно объективными и пригодными для глобального экологического мониторинга, необходимо в каждом регионе выявить наиболее представительные виды и анализировать по возможности одно-возрастные экземпляры.

Проведенный нами анализ лишайника *Nurogumnia physodes*, собранного в июне 1978 г. в приблизительно одинаковых сосновых борах различных районов европейской части страны, показывает, например, что по содержанию Zn, Cu, Hg, Ni состав атмосферы на всей северо-западной части европейской территории Союза мало различается. Резкие отличия характерны для Pb и Cd, содержание которых в атмосфере Московской, Псковской и Новгородской областей повышено по сравнению с Эстонской ССР.

Метод лишайноиндикации прост, надежен, легко выполним, поэтому использование лишайников в качестве тест-объектов для слежения и оценки состояния окружающей среды весьма перспективно.

**Б. Н. Золотарева,**  
кандидат сельскохозяйственных наук

**И. И. Скрипниченко,**  
кандидат сельскохозяйственных наук

Пушино  
**Ю. Л. Мартин,**  
кандидат биологических наук  
Таллин



Экология

## Рост кислотности атмосферных осадков

На Экспериментальной полевой станции Института агрохимии и почвоведения АН СССР с 1975 г. систематически исследовался химический состав атмосферных осадков. Годовая их сумма в районе Приокско-Террасного биосферного заповедника составляет около 562 мм.

По составу осадки относятся к сульфатно-кальциевому типу, иногда — к гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевому. Изменчивость химического состава осадков оказалась весьма значительной (табл. 1). Выявлены и пределы колебания pH осадков (см. график), установлена тенденция к увеличению их кислотности.

Известно, что осадки, сформировавшиеся в атмосфере, относительно свободной от

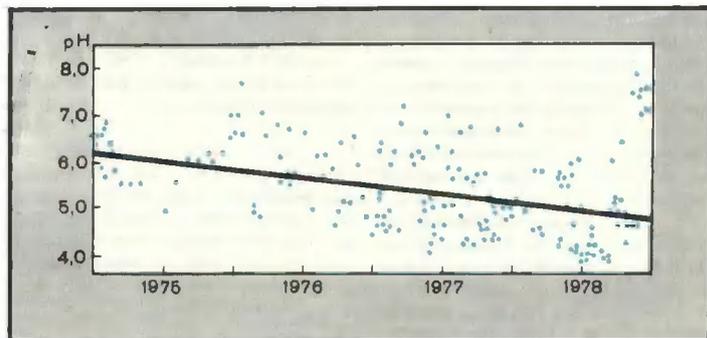
**Таблица 1**  
Химический состав атмосферных осадков. Опыт 1978 г. (около 60 дождей и снегопадов)

| Ионы                          | Концентрация, мг/л |            |
|-------------------------------|--------------------|------------|
|                               | средняя            | предельная |
| НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 2,9                | 18,3       |
| Сl <sup>-</sup>               | 3,7                | 12,1       |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 6,7                | 18,0       |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | 0,17               | 1,9        |
| Ca <sup>2+</sup>              | 2,6                | 7,9        |
| Mg <sup>2+</sup>              | 0,4                | 2,9        |
| K <sup>+</sup>                | 0,3                | 1,9        |
| Na <sup>+</sup>               | 0,7                | 2,2        |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  | 1,0                | 4,6        |
| Сумма ионов                   | 23,1               | 4,1—48,8   |
| pH                            | 5,1                | 3,7—7,9    |

pH атмосферных осадков на контролируемой территории снизился в среднем на 1,5 единицы, причем снижение произошло в основном за счет возросшего числа кислотных дождей.

Кислые осадки приводят к различным отрицательным последствиям в наземных и водных экосистемах. Систематическое выпадение кислотных дождей изменяет pH почвы; возрастают потери из нее катионов Ca, Mg, K, усиливается миграция Fe, Mn, Al; для растений труднодоступным становится фосфор удобрений; нарушается газовый обмен в почве, снижается микробиологическая активность.

Полог высшей растительности существенно трансформирует химический состав атмосферных осадков, при этом воздействие различных видов древесных растений неодинаково. По данным В. П. Учватова<sup>1</sup>, pH осадков (в среднем за 1977 г.) составил: на поляне — 5,8, под дубом — 6,3, под березой — 5,2, под сосной — 5,0, под елью — 4,7, т. е. под хвойными деревьями осадки более кислые, чем под лиственными. Различия существуют даже в пределах одного дерева: наиболее кислые — воды, стекающие по стволу (в отдельных пробах pH снижался на 1,5—2,5 единицы). Пройдя



Изменение pH атмосферных осадков на контролируемой территории Приокско-Террасного биосферного заповедника.

природных и антропогенных источников загрязнения, имеют pH около 5,7 (для сравнения укажем, что pH 0,01 %-ной уксусной кислоты 3,74). С 1 января 1975 г. по 31 декабря 1978 г.

сквозь полог деревьев, осадки меняют и свою минерализацию.

Содержание калия, например, в осадках под некоторыми деревьями возрастает в 15, серы — в 9 раз, в целом же минерализация осадков под деревьями в 2,3 раза выше, чем на поляне. Взаимодействие атмосфер-

<sup>1</sup> Опыт и методы экологического мониторинга. Пушино, 1978, с. 137.

Таблица 2

Поступление водорастворимых элементов с осадками в открытую почву и под пологом озимой пшеницы (кг/га). Опыт 1979 г.

| Вариант опыта                                      | НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Сl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | Сумма водорастворимых компонентов |
|--|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Контроль [без растений]                            | 4,8                           | 0,8             | 12,6                          | 4,0              | 0,8              | 1,4             | 0,8            | 0,25                         | 2,5                          | 27,95                             |
| Озимая пшеница:                                    |                               |                 |                               |                  |                  |                 |                |                              |                              |                                   |
| Без удобрений                                      | 16,7                          | 1,4             | 11,7                          | 5,8              | 0,7              | 2,2             | 8,8            | 0,3                          | 2,2                          | 49,8                              |
| N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>    | 22,4                          | 5,4             | 12,5                          | 6,3              | 1,2              | 2,7             | 15,8           | 0,6                          | 2,2                          | 69,1                              |
| N <sub>135</sub> P <sub>150</sub> K <sub>110</sub> | 22,4                          | 18,8            | 12,1                          | 8,8              | 1,6              | 4,7             | 30,2           | 0,6                          | 2,5                          | 101,7                             |

ных осадков с растительностью приводит, таким образом, к выщелачиванию различных компонентов из ее тканей.

Исследования, проведенные нами в 1979 г. в агрофитоценозах<sup>2</sup>, показали, что атмосферные осадки, прошедшие через полог озимой пшеницы, также существенно обогащаются водорастворимыми компонентами, в особенности K<sup>+</sup>, Сl<sup>-</sup>, НСО<sub>3</sub><sup>-</sup>. Увеличивается и рН осадков, причем наибольшее его возрастание отмечено под пшеницей с максимальной дозой удобрений. В почву за счет выщелачивания из растений в целом поступает макроэлементов в 0,8—2,6 раз больше по сравнению с контролем, а Сl<sup>-</sup> и K<sup>+</sup> больше соответственно в 23 и 38 раз. Аналогичное действие на атмосферные осадки оказывает надземная фитомасса и других сельскохозяйственных культур (ячмень, кукуруза). Снижая кислотность дождей, вод, растительность агроценозов предотвращает выщелачивание из почвы многих компонентов кислыми осадками, выпадение которых возрастает во всем мире.

От контакта с кислыми водами и связанными с этим

неблагоприятными явлениями предохраняет почву снежный покров. Как было показано исследованиями в бассейне малой реки Любожихи (правого притока Оки)<sup>3</sup>, весной в процессе медленного таяния снежного покрова талые воды существенно подщелачиваются за счет растворения атмосферной пыли и в почву поступают уже менее кислыми.

Г. А. Булаткин,  
кандидат сельскохозяйственных наук  
Пушино



Метеорология

### Мутность атмосферы — показатель глобального загрязнения

В программу экологического мониторинга по рекомендации Всемирной метеорологической организации включены измерения ряда интегральных показателей загрязненности атмосферы. К ним относится, в частности, фактор мутности Линке (Т) и его аэрозольная и влажная составляющие. Как известно, солнечный поток ослабляется в атмосфере. Величина Т — это отношение коэффициентов ослабления солнечной радиации в реальной и идеальной (сухой и чистой) атмосфере.

Биосферная станция Института агрохимии и почвоведения АН СССР ведет измерения мутности атмосферы с 1977 г. в сотрудничестве с Гидрометеорологической обсерваторией Московского государственного университета, которая

имеет многолетний опыт наблюдений в черте Москвы и за ее пределами. В работе используются обычные актинометрические приборы, измеряющие прямую солнечную радиацию, дополненные набором широкополосных светофильтров.

Анализ фактора мутности мы проводили с учетом известных синоптических процессов и существующих градаций величин Т. За период наблюдений наиболее часто повторявшиеся значения Т лежат в пределах 2,7—3,2 относительных единицы, что соответствует градации «нормальная атмосфера» (в Москве обычная величина Т несколько выше — 3,0—3,5; сказывается влияние города с многочисленными источниками загрязнения атмосферы). Минимальные значения Т отмечены при вторжениях более чистых арктических воздушных масс: связанные с ними осадки вымывают аэрозоли из подоблачного слоя. Летом в этих случаях значения Т уменьшались до 2,5, зимой — до 1,8, что соответствует градации «чистая атмосфера». Максимум Т=4,7 наблюдался, когда в пределы региона вторгалась воздушная масса, прошедшая через Западную и Центральную Европу, и при этом на всей трассе ее движения отсутствовали осадки. Особо неблагоприятные ситуации (Т до 8 относительных единиц) наблюдались несколько раз в августе 1977 и 1978 гг. в течение 2—4 дней. Они возникали при образовании зон повышенного давления, когда ветер дул с юго-запада и юга.

И. Ф. Медведева,  
кандидат географических наук  
Н. Н. Фадеев  
Пушино

<sup>2</sup> Булаткин Г. А., Учватов В. П., Максимович Ю. А. Трансформация химического состава атмосферных осадков пологом озимой пшеницы. Препринт НЦБИ, Пушино, 1980, с. 13.

<sup>3</sup> Глазовский Н. Ф., Злобина А. И., Учватов В. П. Химический состав снежного покрова некоторых районов Верхнеокского бассейна. Препринт НЦБИ, Пушино, 1978, с. 28



Амурский тигр.

Фото Ю. И. Уланова.

## Амурский тигр. Успехи восстановления вида

В. И. Животченко



Виктор Иванович Животченко, младший научный сотрудник лаборатории методов и совершенствования научно-исследовательской работы заповедников Всесоюзного научно-исследовательского института охраны природы и заповедного дела Министерства сельского хозяйства СССР. Изучает редкие виды крупных хищников и копытных Приморского края. Постоянный автор журнала «Природа».

Амурский тигр (*Pantera tigris altaica*) — самый крупный представитель семейства кошачьих (*Felidae*)<sup>1</sup>. На территории СССР занимает северную оконечность видового ареала и приспособлен к обитанию в экстремальных для вида в целом условиях. Внесен в «Красную Книгу» Международного союза охраны природы и «Красную Книгу СССР».

На территории СССР амурский тигр заселяет участок протяженностью с севера на юг приблизительно 1000 км, а с запада на восток — 600—700 км.

Можно предположить, что своеобразным центром ареала амурского тигра в XIX в. были юг Приморского края и сопредельная территория Китая и Кореи. Особенно много их было в верхней части бассейна р. Уссури, в бассейне оз. Ханка и на морском побережье между зал. Посъет и бухтой Ольги.

Тигры жили повсюду в границах своего естественного ареала, и хотя численность

их была не везде одинаковой, о существовании отдельных разорванных очагов говорить не приходилось. На юге Приморского края численность тигров была более высокой. Но низменные участки юга Приморья, наиболее удобные и для земледелия, заселялись и вовлекались в хозяйственное использование в первую очередь. Поэтому прежде всего тигры исчезли из котловины оз. Ханка, из окрестностей городов Никольска, Владивостока, зал. Посъет и всего Корейского полуострова. Общее уменьшение численности тигров объясняется главным образом падением численности диких копытных, являющихся основным объектом питания этого хищника, изменением биотопов под влиянием хозяйственной деятельности человека и прямым преследованием со стороны человека. Хозяйственное освоение территории является основным фактором, определяющим размещение и численность тигров до настоящего времени.

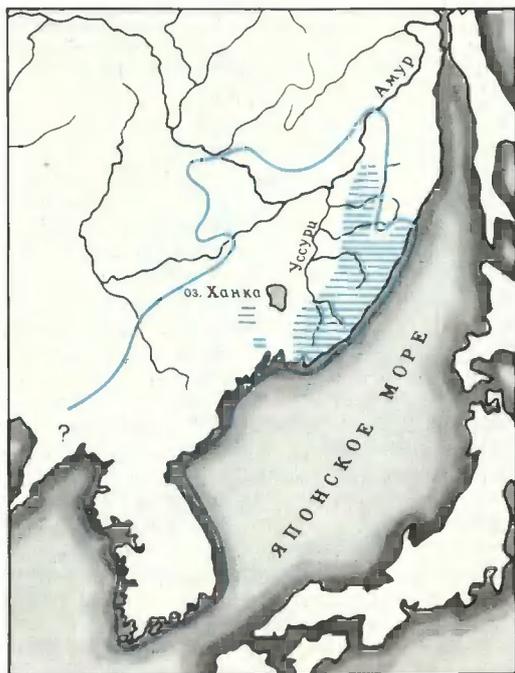
Уже к началу XX в. структура ареала тигра заметно изменилась. Исчезновение тигров на юге края привело в 20-х годах к обособлению сихотэ-алинского очага от малохинганского и чабайшанско-лаозлинского очагов.

На протяжении следующих 20 лет продолжалось снижение численности амурского тигра и сокращение его ареала. В эти

<sup>1</sup>Амурский тигр был впервые описан в 1844 г. как *P. t. altaica*, и это латинское название сохранилось до наших дней. Русское же название менялось несколько раз: его называли и корейским, и маньчжурским (и даже уссурийским). Современное русское название этого подвида тигра — амурский (подробнее см.: Гелтнер В. Г., Слудский А. А. Млекопитающие Советского Союза, т. II, ч. 2. М.: 1972, с. 83—84.

годы уменьшение численности тигра происходило за счет отстрела взрослых тигров и отлова живых тигрят. Так, по данным Л. Г. Капланова, в 30—40-х годах количество пойманных тигрят превышало количество убитых тигров, а численность тигров по всему советскому Дальнему Востоку в этот период определялась им в 20—30 особей. Вероятно, эти данные занижены, так как Капланов проводил учет только в среднем и отчасти северном Сихотэ-Алине.

В спасении популяции амурского тигра в этот период большие значение имели



Ареал амурского подвиды тигра в XIX в. (жирная линия) и в наши дни [штриховка]<sup>2</sup>.

заповедники. Работы Капланова по изучению экологии, численности, состояния популяции амурского тигра и последовавший за этим аргументированный призыв взять этого зверя под охрану явились большим вкладом в дело охраны этого вида.

В 1947 г. был запрещен отстрел тигра, а с 1956 г. (сроком на 5 лет) и отлов тигрят. Эти меры, наряду с существованием Сихотэ-Алинского и Лазовского заповедников, послужили поворотным пунктом в судьбе амурского тигра. Результаты начали сказываться довольно быстро, и уже в 50-х годах тигры стали появляться в местах, откуда ранее исчезли. Звери вновь заселили всю территорию Сихотэ-Алинского и Лазовского заповедников и стали выходить за их пределы. К 1959 г. на территории Приморского края обитало 55—65 тигров, а в Хабаровском крае — около 35 тигров, т. е. на всем советском Дальнем Востоке около 100 особей. По данным А. А. Слудского, на 1 января 1965 г. на советском Дальнем Востоке поголовье тигров составляло около 120 особей. В 1969—1970 гг. учет тигров на территории Приморского края, проведенный А. Г. Юдаковым и И. Г. Николаевым, показал, что к 1970 г. в Приморском крае насчитывалось не менее 130 тигров, а всего на советском Дальнем Востоке — около 150 тигров. По данным 1978 г. в Хабаровском крае обитает примерно 30 тигров, в Приморском крае около 160 особей. Таким образом, на территории советского Дальнего Востока обитает до 200 тигров. Помимо СССР, амурский тигр сохранился в Корее и в северо-восточной части Китая (60—70 особей), где взят под охрану. И, наконец, в зоопарках мира на 1 января 1979 г. живут в неволе 844 тигра. На юге Приморского края центром охраны тигра является Лазовский, на севере — Сихотэ-Алинский заповедники.

Главным фактором, определяющим пригодность того или иного типа леса в качестве места обитания тигра, является численность копытных. Основные места обитания амурского тигра расположены в зоне широколиственных и хвойно-широколиственных лесов Дальнего Востока. Горные леса в меньшей степени подвергались воздействию хозяйственной деятельности человека и служили убежищем тем немногим тиграм, которые сохранились там в конце прошлого — начале нынешнего столетия. Важен не состав леса и высота деревьев, а наличие густых зарослей кустарников и завалов из вывороченных с корнем деревьев, которые служат хорошим убежищем. Охотно посещают тигры невысокие хребты в выходах скал. Они удобны для передвижения. На прогреваемых солнцем склонах в скальных нишах тигры устраивают убежища для длительного отдыха, а скальные площадки являются удобными наблю-

<sup>2</sup>Границы восстановленного ареала тигра разными исследователями изображались несколько различно. Здесь они даны в соответствии с описанием Е. Н. Матюшкина. (См. Матюшкин Е. Н. Особенности распространения и экологии амурского тигра как географической формы вида, освоившей экстремальные условия обитания. — В сб.: Интернационалес тигер-симпозиум. Лейпциг, 1978, с. 23).

дательными пунктами. Границы семейных участков чаще всего проходят по крупным водоразделам.

Маршруты тигров упорядочены. На своем участке тигры передвигаются преимущественно по определенным, постоянным маршрутам, максимально используя дороги, тропы, перевалы, невысокие хребты летом и малоснежные склоны сопок зимой. Глубокий снег сильно затрудняет передвижение. Тигр, обладающий большим весом, проваливается и оставляет за собой подобие траншеи. Способность к нормальной жизнедеятельности в морозные и многоснежные зимы является важной экологической особенностью амурского тигра.

В зимний период, особенно на участках с высоким снежным покровом, тигры прокладывают тропы, которых придерживаются на значительных отрезках пути. Такие тропы бывают настолько утрамбованы, с подтаявшими, обледеневшими старыми отпечатками лап зверей, что нелегко заметить свежий след тигра.

Тигр самец совершает более дальние переходы, и его тропы более постоянны. Постоянный многолетний маршрут состоит из посещения тигром излюбленных мест охоты. Суточный маршрут зверя 15—20 км. В Лазовском заповеднике в одной и той же точке на территории нашего стационара он появляется через 8—12 дней. В местах охоты тигр проводит 2—3 дня, а затем продолжает движение по постоянному маршруту.

Все тигры имеют свои излюбленные места охоты. Как правило, это места удачных охот. Здесь концентрируются копытные в определенные сезоны года (солонцы весной и летом, дубняки и кедрачи осенью, малоснежные участки зимой и т. д.), а пересеченный рельеф с крутыми склонами, крупными камнями и скалистыми участками и т. п. благоприятствует скрадыванию добычи. После удачной охоты (через 7—10 дней) тигр, как правило, возвращается на это место. Если добыть больше ничего не удастся, посещения становятся все более редкими и в конце концов это место теряет для него значение постоянного охотничьего участка. В то же время места, где из года в год в определенные сезоны бывает высокая концентрация копытных, тигр посещает регулярно. В большинстве излюбленных мест охоты самки регулярно охотятся и самец и молодые тигры из этой семьи. Самец охотится на более крупных животных, а съедает он, в большинстве случаев, всего 10—20% туши. Остатки

добычи самца часто достаются самке и молодым зверям. Иногда самка охотится с самцом или с молодыми тиграми из ее выводка.

Для тигра характерна полигамия и семейная территориальность. В Лазовском заповеднике на территории нашего стационара на одного самца приходится 2 самки. Не менее 2 самок на одного самца приходится и на трех семейных участках, которые частично заходят на территорию заповедника. Подобная картина наблюдается и в Сихотэ-Алинском заповеднике. Семейный участок — это не просто территория, на которой живут самец и самка. Собственно индивидуальные участки, хотя и налагающиеся друг на друга, имеют самки. Самец регулярно появляется и охотится на участках обитания всех своих самок. Кроме того, самец контролирует территорию, прилегающую к индивидуальным участкам самок, на которой самки появляются редко, а самец и молодые самостоятельные тигры бывают и охотятся постоянно. Участки обитания самок захватывают, как правило, долины рек и крупных ключей, побережье, а территория, контролируемая преимущественно самцом, располагается ближе к водораздельному хребту, который зачастую и является естественной границей между семейными участками. В 1975 г. и в 1979 г. в Лазовском заповеднике маленькие тигрята у четырех самок на двух семейных участках появились почти одновременно. Самки с маленькими тигрятами длительное время держатся на ограниченной территории одного из своих излюбленных мест охоты. Площадь семейного участка, на котором мы обычно проводим наблюдения, около 50 тыс. га, из которых только около 20 тыс. га входят в состав территории Лазовского заповедника. До последнего времени господствовало представление<sup>3</sup>, что тигры живут на индивидуальных участках, как правило, очень больших размеров, которые одиночные особи периодически покидают, чаще зимой, совершая длительные переходы. Причина сокращения площади индивидуальных участков тигров, очевидно, заключается в изменении плотности популяции.

Площадь участка, используемого тигром, очевидно, определяется сложным комплексом условий: рельефом местности, растительным покровом, численностью

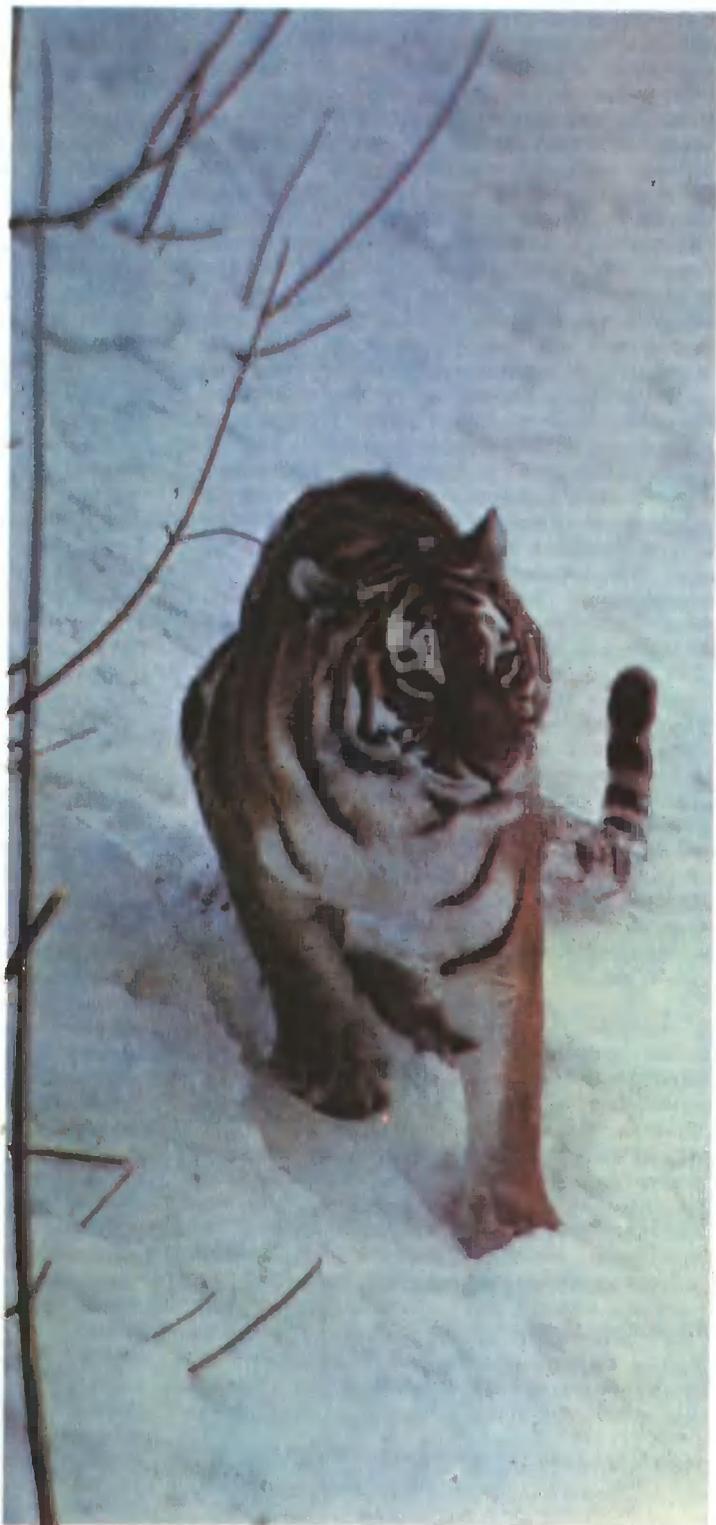
<sup>3</sup>Капланов Л. Г. Тигр, изюбр, лось. М.: Изд. МОИП, 1948.



В зимний период тигры неохотно  
идут в воду (с л е в а)  
Ф о т о Ю. И. Уланова.

Визу слева направо: плакат в Си-  
хота-Алинском заповеднике, сле-  
ды тигра, маршруты тигров за-  
частую проходят по долинам рек.

Щелчок затвора фотоаппарата —  
и зверь насторожился (с п р а в а).  
Ф о т о автора.



и уязвимостью животных — жертв. Важным элементом организации семейного участка является сеть постоянных и временных убежищ и мест меченья. Обходя семейный участок, тигры оставляют пахучие метки — урины и экскременты на нагрехах снега, земли или лесной подстилки, а также мочевые метки на выделяющихся толстых деревьях и каменистых выступах, при этом зверь часто специально сходит с тропы. Такую же роль, очевидно, играют почесы и задиры на деревьях, чаще смолистых или с шелушащейся корой. Частота меченья возрастает на отрезках пути, совпадающих с маршрутами передвижения других особей и, вероятно, является формой общения. Очевидно, наблюдающаяся у тигров система постоянных маршрутов, мест меченья и убежищ, представляет собой так называемое биологическое поле, которым и определяется распределение тигров в пространстве<sup>1</sup>.

Спаривание, сопровождающееся специфическим поведением зверей, получило название «свадьбы». Самец и самка длительное время держатся вместе. Для этого периода характерно игровое поведение зверей — следы преследования друг друга, много различных лежек, перекачивание с боку на бок, прыжков. Продолжительность беременности (по наблюдениям в зоопарке) — 98—112 дней. Самка рождает 2—4 детенышей, редко 1 и еще реже 5—6. Половозрелыми молодые тигры становятся в возрасте около 4 лет. По наблюдениям в неволе, способность к размножению сохраняется до 20 лет, а продолжительность жизни тигра — до 50 лет.

Роль отдельных видов животных в питании тигров определяется прежде всего численностью и стабильностью поголовья объектов питания тигров. Так, в приморской части Лазовского заповедника на участке, где нами уже 8 лет регулярно ведутся наблюдения, на протяжении всего года предпочтение отдается пятнистому оленю, а в глубинных районах заповедника, на участках, где оленей нет или мало, весной и летом среди добычи тигров преобладает изюбр, осенью и зимой — кабан.

Охотящийся тигр обычно двигается вдоль подножья крутого склона или по невысокому хребту со скальными выходами, используя в качестве укрытий нависаю-

щие выступы, отдельные камни и ложбины. При встрече потенциальной жертвы в условиях, благоприятствующих охоте, тигр начинает к ней подкрадываться. При этом он движется очень осторожно, медленно, используя укрытия, часто останавливается и подолгу лежит (зимой под ним даже успевает подтаять снег). Нередко медленный шаг сменяется броском, но иногда тигры устремляются к приблизившейся жертве с лежки. В некоторых случаях тигр, оценивая направление движения жертвы, заходит вперед и ожидает ее в укрытии. Нападает тигр как сверху, так и снизу по склону. Бросок чаще делается с 10—30 м. Если потенциальная жертва обнаружит присутствие тигра до того, как он приблизится на это расстояние, хищник атакует раньше, но, как правило, безуспешно. Первые 1—3 прыжка самые большие (до 5 м), остальные меньше (около 3 м). Преследуя добычу, тигр делает до 40—50 прыжков. При неудачном нападении тигр, как правило, преследует зверя 100—150 м. Даже в излюбленных местах охоты тигра его добычей становится всего около 20% животных, остальные — уходят. Настигнув животное, тигр обхватывает жертву лапами в области крупы и затем наносит смертельные укусы (убивает ударом клыков в затылок или шею), реже хватает снизу за горло. Шейные позвонки, обычно, бывают повреждены, а голова жертвы отвернута под туловище.

В годы низкой численности тигров в Приморском крае широко расселились волки, численность которых была очень высокой. В эти же годы в Лазовском заповеднике постоянно встречались барсы. С ростом численности тигров произошел распад крупных волчьих стай, сильно снизилась численность волков, но небольшими группами и в одиночку они сохранились повсеместно. Барс, очевидно, также был вытеснен тигром.

Принятые в СССР меры для сохранения амурского тигра способствовали подъему численности этого зверя. Тигры мало чувствительны к соседству с человеком. Они заселяют вторичные леса, мирятся с присутствием человека на своем семейном участке, а охотясь за собаками, даже посещают окраины населенных пунктов. Достаточно высокая, а в некоторых районах на юге края, очевидно, предельная численность амурских тигров гарантирует возможность сохранения в нашей стране этого подвида, но продолжающееся интенсивное освоение территории

<sup>1</sup>Наумов Н. П. Ж. общей биол., 1973, т. 34, № 6.

края выдвигает новую задачу — сохранить оптимальную численность тигров в глухих таежных районах и возможную допустимую на освоенных, вовлеченных в хозяйственную деятельность человека территориях. И уже сейчас необходимо ставить на повестку дня разработку мер по сглаживанию возникающих конфликтных ситуаций между тигром и человеком.

Необходим постоянный контроль за численностью и состоянием популяции тигров во всех районах края. Это даст возможность следить за размещением и динамикой численности тигров, учитывать, с одной стороны, влияние различных аспектов человеческой деятельности на популяцию тигров, а, с другой стороны, — возможность и целесообразность той или иной формы хозяйственной деятельности при данной численности тигров. Расчет допустимой плотности тигров для территорий разного характера использования с учетом специфики кормовой базы и хозяйственной деятельности человека позволит избежать возникновения конфликтных ситуаций. Так, если мы хотим в каком-либо районе иметь высокую плотность тигров, то, очевидно, следует запретить в этом районе охоту на копытных, а деятельность государственного промыслового хозяйства ограничить добычей пушнины и сбором дикорастущих растений.

Основным фактором, ограничивающим в настоящее время рост численности тигров, очевидно, является численность диких копытных. Быстрое заселение и освоение территории края, сопровождавшееся неконтролируемой охотой на копытных, сильно подорвало кормовую базу тигра. С целью улучшения ее состояния нам кажется целесообразным в местах с высокой численностью тигров организовать заказники для копытных, а в годы снижения численности диких копытных полностью запрещать их отстрел. Целесообразно проводить биотехнические мероприятия, направленные на поддержание высокой, стабильной численности копытных и прежде всего подкормку их в многоснежные зимы. Как показала практика, подкормочные площадки могут служить излюбленными местами охоты тигров и увеличивать их плотность там, где это целесообразно.

В качестве эталонных следует сохранить несколько тигриных семей на участках, изъятых из какой-либо хозяйственной деятельности, а для этого необходимо увеличить площадь или изменить границы существующих заповедников (и в первую

очередь Лазовского заповедника) таким образом, чтобы 1—2 семейных участка тигров полностью находились на их территории. В Лазовском районе большую ценность для охраны тигра, горала и пятнистого оленя представляет территория ликвидированного оленепарка Валентиновского зверосовхоза. Поставлен вопрос о ее передаче Лазовскому заповеднику, но его решение затягивается.

В настоящее время с ростом численности амурских тигров существенно изменилось состояние популяции этой формы, и в связи с этим возникли новые задачи и проблемы. В то же время в последние годы ряд специалистов уделял большое внимание в своих исследованиях тигру, и сейчас мы знаем об этом звере значительно больше, чем 10—20 лет назад. Настало время подвести итоги очередного этапа в изучении тигра и на этой основе разработать наиболее рациональные меры по его сохранению, исходя из современного состояния популяции и планов развития народного хозяйства Дальнего Востока.

#### СТАТЬИ О ТИГРЕ В ЖУРНАЛЕ «ПРИРОДА»

**Берг Л. С., Иванова-Берг М. М.** ТИГР В СРЕДНЕЙ АЗИИ. 1951, № 6.

**Демчук Н. А., Пашков В. Н.** ЕСТЬ ЛИ ТИГРЫ В НИЗОВЬЯХ СЫР-ДАРЬИ. 1955, № 12.

**Шишкин И. Б.** ТИГР И ЧЕЛОВЕК. 1967, № 5.

**Банников А. Г., Жирнов Л. В., Лебедева Л. С.** О ТУРАНСКОМ ТИГРЕ. 1967, № 6.

**Банников А. Г., Соков А. И.** ТИГР В ТАДЖИКИСТАНЕ. 1971, № 1.

**Шишкин И. Б.** СОХРАНИТСЯ ЛИ ТИГР НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ? 1971, № 8.

**Шишкин И. Б.** ПЕРЕПИСЬ ТИГРОВ В ИНДИИ. 1972, № 5.

**Банников А. Г.** ТИГР ПОД УГРОЗОЙ ИСЧЕЗНОВЕНИЯ. 1972, № 7.

**Матюшкин Е. Н.** ТИГР И ЧЕЛОВЕК — ПРОБЛЕМЫ СОСЕДСТВА. 1973, № 12.

**Животченко В. И.** ТИГР-ЛЮДОЕД В ПРИМОРСКОМ КРАЕ. 1977, № 3.

**Потапов Р. А.** ИСЧЕЗНОВЕНИЕ ТУРАНСКОГО ТИГРА. 1978, № 6.

## ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 1980 ГОДА

### По физике — Дж. Кронин и В. Фитч

Нобелевская премия по физике в 1980 г. присуждена известным американским экспериментаторам Дж. Кронину и В. Фитчу за открытие нарушения фундаментальных принципов симметрии в распаде нейтральных К-мезонов.

Джеймс Уотсон Кронин (James Watson Cronin) родился в Чикаго (Иллинойс, США) 29 сентября 1931 г. В 1951 г. окончил университет в Далласе, в 1955 г. получил степень доктора философии в Чикагском университете. В 1955—58 гг. работал в Брукхейвенской национальной лаборатории, с 1958 г. — в Принстонском университете. В 1965—71 гг. — профессор этого университета, а с 1971 — профессор Института ядерных исследований им. Э. Ферми при Чикагском университете. Член Американской академии искусств и наук с 1967 г., член Национальной академии наук США с 1970 г.

Научные интересы Дж. Кронины связаны с ядерной физикой и физикой элементарных частиц. Он изучал распад гиперонов и рождение мюонов, занимался измерением полных сечений пион-протонного рассеяния. Усовершенствовал искровую камеру, Дж. Кронин одним из первых использовал ее в качестве детектора частиц для получения высококачественных снимков треков.

Вэл Логдсон Фитч (Val Logsdon Fitch) родился в Мерримане (Небраска, США) 10 марта 1923 г. С 1943 по 1946 г. служил в армии США. В 1948 г. окончил Мак-Гиллский университет в Монреале (Канада), а в 1954 г. получил степень доктора философии в Колумбийском университете. С 1954 г. работает в Принстонском университете, с 1960 г. — профессор этого университета. Член Американской академии искусств и наук и На-



Дж. Кронин во время пресс-конференции, состоявшейся 14 октября с. г. сразу же после объявления о присуждении ему Нобелевской премии.

Фото ЮПИ — ТАСС.



В. Фитч у своего дома в Принстоне. 14 октября 1980 г.

Фото АП — ТАСС.

циональной академии наук США с 1966 г.

Научные работы В. Фитча относятся к ядерной и мезонной физике и физике элементарных частиц. Совместно с Дж. Рейнуотером получил ряд классических результатов: определил массу  $\mu$ -мезона, в 1953 г. открыл  $\mu$ -мезоатомы, тогда же с высокой точностью измерил радиусы ядер в области значений  $Z$  от 13 до 83. В дальнейшем В. Фитч занимался исследованием свойств К-мезонов. В 1956 г. экспериментально доказал равенство времен жизни так называемых  $\theta$ - и  $\tau$ -мезонов, что помогло установить идентичность этих частиц. (Впоследствии оказалось, что  $\theta$ - и  $\tau$ -мезоны соответствуют двум различным способам распада К-мезонов. Это привело Т. Ли и Ч. Янга к выводу о несохранении четности в слабых взаимодействиях.) В 1961 г. В. Фитч

открыл  $\bar{K}^0$ -мезон, а в 1965 г. первым наблюдал интерференцию  $K_1^0$  и  $K_2^0$  мезонов.

Открытие, удостоенное в этом году Нобелевской премии, было сделано на ускорителе протонов Брукхейвенской национальной лаборатории в 1964 г., когда Дж. Кронин и В. Фитч обнаружили редкий распад, свидетельствующий о нарушении слабыми взаимодействиями симметрии относительно операции комбинированной инверсии (СР). Тем самым был внесен последний штрих в неспроверженное так называемых дискретных симметрий в физике.

Долгие годы считалось естественным, что законы природы не должны меняться при изменении направления радиус-векторов всех объектов на противоположные, т. е. при операции зеркального отражения (Р).

Эта симметрия между правым и левым описывается в квантовой механике законом сохранения особой величины — пространственной четности. Существовало также убеждение в симметрии относительно операции зарядового сопряжения (С), переводящей все частицы в соответствующие античастицы. Так продолжалось до 1956 г., когда было открыто несохранение пространственной четности в  $\beta$ -распаде поляризованных ядер  $^{60}\text{Co}$ . Вскоре было найдено нарушение симметрии и относительно операции зарядового сопряжения. В дальнейшем эффекты нарушения Р- и С-симметрии наблюдались почти во всех процессах, обусловленных слабыми взаимодействиями. Стало ясно, что открыто фундаментальное свойство слабых взаимодействий.

Однако вывод, что в природе нарушена симметрия между правым и левым, не очень устраивал теоретиков. Л. Д. Ландау писал, что «такая асимметрия... представляется более, чем странной, и... простой отказ от сохранения четности поставил бы теоретическую физику в тяжелое положение». Выход из него был предложен в 1957 г. независимо в работах Л. Д. Ландау, А. Салама, Т. Ли и Ч. Янга. Они высказали предположение, что имеет место инвариантность относительно операции комбинированной инверсии, представляющей собой совокупность операций Р и С. При комбинированной инверсии надо не просто шагнуть в Зазеркалье, но и заменить все частицы на их античастицы. По образному выражению Ландау, античастица есть частица, отраженная в зеркале. Если СР-инвариантность имеет место, то любой процесс, обусловленный слабым взаимодействием частиц, выглядит, как зеркальное изображение процесса взаимодействия соответствующих античастиц, и характеризуется теми же параметрами (сечением, угловым распределением и т. п.).

Во всех опытах, выполненных до работы Кронина и Фитча, такая СР-симметрия действительно наблюдалась.

Дж. Кронин и В. Фитч с сотрудниками изучали распады  $K^0$ -мезонов, полученных при бомбардировке бериллиевой мишени протонами, ускоренными до энергии 30 Гэв. Нейтральный  $K^0$ -мезон и его античастица  $\bar{K}^0$ -мезон уникальны среди элементарных частиц: они различаются только странностью, которая, как известно, в слабых взаимодействиях не сохраняется. В таком случае, как утверждает квантовая механика, физически наблюдаемыми частицами могут быть определенные смеси  $K^0$ - и  $\bar{K}^0$ -мезонов, называемые  $K_S$  и  $K_L$ -мезонами. Они должны иметь несколько разные массы и различные времена жизни (установлено, что  $\tau_S = 0,9 \cdot 10^{-10}$  с,  $\tau_L = 5,2 \cdot 10^{-8}$  с). Пучок  $K^0$ -мезонов должен приблизительно на 50% состоять из частиц  $K_S$  и на 50% из  $K_L$ . Различие во временах жизни  $K_S$  и  $K_L$ -мезонов обусловлено тем, что распадаются они по-разному. Если верно предположение о симметрии слабых взаимодействий относительно комбинированной инверсии, то короткоживущий мезон  $K_S$  должен распадаться в основном на два  $\pi$ -мезона ( $\pi^+\pi^-$  или  $\pi^0\pi^0$ ); для долгоживущего мезона  $K_L$  такой распад запрещен законом сохранения СР-четности.

Все это было хорошо известно до опытов Кронина—Фитча. И тут произошла сенсация. В их эксперименте скорость  $K^0$ -мезонов  $v$  составляла 0,91 скорости света. На расстоянии  $v\tau_L/\sqrt{1-v^2/c^2} \approx 6$  см короткоживущие частицы  $K_S$  должны были распастись. Однако совершенно неожиданно распады на два  $\pi$ -мезона были зарегистрированы на расстоянии 19 м от точки рождения  $K^0$ -мезонов. Это означало, что зафиксирован распад долгоживущей компоненты  $K_L$ , запрещенный законом сохранения комбинированной четности. Правда, доля таких распадов составляла всего 0,2%, но и этого оказалось достаточно, чтобы навсегда рухнула вера в строгость СР-инвариантности законов природы. Сенсационные результаты

Принстонской группы, возглавляемой Дж. Кронином и В. Фитчем, были доложены в августе 1964 г. на XII Международной конференции по физике высоких энергий в Дубне. Последующие эксперименты подтвердили полученные данные<sup>2</sup>. Через несколько лет была обнаружена зарядовая асимметрия в лептонных распадах долгоживущей компоненты на  $\mu^+\mu^-\bar{\nu}$  и  $\mu^-\mu^+\nu$  (здесь  $l = e, \mu$ ). Оказалось, что распад с рождением положительно заряженного лептона происходит несколько чаще, что также свидетельствует о нарушении СР-инвариантности. Никаких других явлений, в которых не сохраняется СР-четность, до сих пор не найдено. Это связано с тем, что наблюдаемый эффект мал, а точность, необходимая для его обнаружения в других процессах, еще не достигнута.

Теоретические и экспериментальные исследования, связанные с открытием, удостоенным Нобелевской премии 1980 г., дали еще один важный результат: в распадах  $K_L$  и  $K_S$  нарушается также симметрия относительно обращения времени — так называемая Т-инвариантность.

Сравнительная скудость экспериментальных данных привела к появлению большого числа моделей несохранения СР-четности. Подобные попытки стали предприниматься сразу же после сообщения результатов Кронина—Фитча и продолжают по сей день. По сравнению с 1964 г. мы знаем, что все взаимодействия надо рассматривать на уровне кварков. При этом желательно включить механизм нарушения СР-инвариантности в калибровочные теории, на основе которых объясняются сейчас электрослабые и сильные взаимодействия. Проблема эта далеко еще не решена, и дальше речь пойдет лишь о некоторых интересных попытках, демонстрирующих важную роль открытия Дж. Кронина и В. Фит-

<sup>1</sup> Ландау Л. Д. О законах сохранения при слабых взаимодействиях. — ЖЭТФ, 1957, т. 32, с. 405.

<sup>2</sup> Подробнее об этом см.: Варденга Г. Л., Окорова Э. О. Слабые взаимодействия сокрушают симметрии. — Природа, 1970, № 9.

ча для современной физики элементарных частиц.

Напомним, что основными объектами современной теории электрослабых взаимодействий являются кварки, лептоны, векторные бозоны, переносящие взаимодействие, и, наконец, бесспиновые хиггсовские бозоны, появление которых связано с предположением о спонтанном нарушении симметрии теории<sup>1</sup>.

Векторные бозоны взаимодействуют с кварками и лептонами. Можно попытаться именно на это взаимодействие возложить ответственность за CP-нарушение. Теоретики знают, что для этого достаточно приписать некоторым величинам мнимые части, т. е. считать их комплексными числами. Тогда в теории в принципе появляются параметры, отличие которых от нуля и приводит к несохранению CP-инвариантности. Оказалось, однако, что число этих параметров должно быть ограничено. Можно совершить такие преобразования, что часть параметров попросту исчезнет и никакие физические наблюдаемые результаты от них зависеть не будут. Несохраниение CP-четности, следовательно, описывается лишь остающимися параметрами. Максимально возможное их число в теориях типа Вайнберга—Салама с 2N кварками определяется по формуле  $(N-1)(N-2)/2$ . Отсюда сразу следует классический результат: в теории с четырьмя кварками ( $N=2$ ) CP-нарушение получить нельзя, так как число соответствующих параметров равно нулю. Возможный выход из положения был указан в 1973 г. М. Кобайаши и К. Мас-

кавой. Они предложили обобщение стандартной модели Вайнберга—Салама на случай шести кварков ( $N=3$ ). Тогда в теории возникает один свободный параметр, позволяющий при подходящем выборе его численного значения описать все экспериментальные данные. Вначале предложение японских физиков выглядело не более чем любопытной гипотезой. Сейчас, после открытия пятого b-кварка в составе  $\Upsilon$ -мезонов<sup>2</sup>, мало кто сомневается в существовании шестого кварка (t). Таким образом, в рамках модели Кобайаши—Маскавы мы можем получить ответ на актуальный вопрос, зачем же природе понадобилось так много кварков. Оказывается, чтобы иметь возможность столкнуть нас с проблемой нарушения CP-четности.

Следует подчеркнуть, что предложенная М. Кобайаши и К. Маскавой схема не единственная, существуют и другие подходы. Ряд авторов (С. Вайнберг, Т. Ли и др.) связывают нарушение CP-инвариантности с взаимодействиями, возникающими из-за обмена хиггсовским бозоном. Можно надеяться, что повышение точности экспериментов позволит сделать выбор между различными механизмами несохранения комбинированной четности.

Кстати отметим, что в калибровочной теории сильных взаимодействий, квантовой хромодинамике, сейчас решается обратная задача — как избавиться от несохранения CP-четности. В этой теории вследствие сложной структуры вакуума возникла опасность CP-нарушения непосредственно в сильных взаимодействиях, а экспериментальная ситуация исключает такую возможность.

Нарушение CP-инвариантности в микромире может иметь глобальные последствия. Наблюдения показывают, что видимая Вселенная состоит в основном из обычных частиц (протонов, нейтронов), а количество антивещества в ней ничтожно. Об этом факте гово-

рят, как о «барионной асимметрии» Вселенной.

Но так было не всегда. На ранней стадии развития Вселенной при очень больших температурах ( $\sim 10^{13}$  К) количество нуклонов и антинуклонов почти совпадало. Существовал лишь небольшой избыток частиц над античастицами, относительная величина которого по данным астрофизики составляла  $\Delta = 10^{-8} - 10^{-10}$ . В дальнейшем все античастицы проаннигилировали с частицами, а из ничтожного в прошлом избытка частиц возникло все то, что нас окружает. Если бы количество частиц в прошлом совпадало с количеством античастиц ( $\Delta = 0$ ), произошла бы их полная взаимная аннигиляция и вместо нашего лучшего из миров была бы сотворена унылая Вселенная, заполненная лишь фотонным газом. Встает вопрос, какой механизм привел к отличному от нуля значению  $\Delta$ ? Простейший ответ — так было всегда, т. е. мир с самого начала был асимметричен — для теоретиков неинтересен. Гораздо привлекательнее вариант, когда в начальном состоянии число частиц и античастиц совпадает, но затем из-за каких-то особенностей в динамике их взаимодействий возникает асимметрия. Почти очевидно, что в такой теории надо отказаться от сохранения барионного заряда. В противном случае симметричное начальное состояние останется таковым навсегда, так как нуклоны и антинуклоны должны будут рождаться и исчезать только парами. Несохраниение барионного заряда создает принципиальную возможность возникновения барионной асимметрии. Этого, однако, еще недостаточно: если все взаимодействия CP-инвариантны, то число кварков и антикварков, а следовательно и возникающих из них барионов и антибарионов, в любой момент эволюции мира будет равно. Если же взаимодействие частиц не обла-

<sup>1</sup> Кваркам, лептонам, теории калибровочных полей, векторным и хиггсовским бозонам и т. п. в «Природе» посвящено немало публикаций. См., напр.: Кобаяши и Вайнберг, Ю. Лауреаты Нобелевской премии 1979 г. по физике — С. Вайнберг, Ш. Глэшоу, А. Салама. — Природа, 1980, № 1; Шехтер В. М. Кварки. — Природа, 1980, № 3; Ансельм А. А. В поисках единой теории фундаментальных взаимодействий. — Природа, 1980, № 6, 7.

<sup>2</sup> Об  $\Upsilon$ -мезонах см.: Природа, 1979, № 2, с. 105; 1980, № 8, с. 107.

<sup>3</sup> Величина  $\Delta$  определена как отношение разности числа частиц и античастиц к их сумме. В современную эпоху  $\Delta \approx 1$ , так как число античастиц практически равно нулю.

дает CP-инвариантностью, то такого уже не произойдет и в процессе Большого Взрыва может возникнуть избыточный барионный заряд.

Изложенная схема, которая была предложена еще в 1967 г., выглядит сейчас правдоподобной в связи с попытками объединения сильных и электро-слабых взаимодействий в рамках квантовой теории калибровочных полей. В таких моделях (их сейчас принято называть моделями «великого объединения») естественным образом возникает несохранение барионного заряда, что избавляет от необходимости использовать дополнительные предположения<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Впервые проблема образования барионной асимметрии Вселенной в рамках

Если этот подход в принципе правилен, то существует интересная возможность также использовать данные астрофизики для выбора истинной теории великого объединения и выяснения механизма нарушения комбинированной четности; одновременно должны получить объяснение и самые основные черты окружающего нас мира, обусловленные на-

личием в нем барионного заряда.

Мы видим, таким образом, как явление, все еще до конца неразгаданное, вот уже пятнадцать лет питает теоретическую мысль и служит для проверки различных предположений о строении нашего мира. И чем бы ни кончилось дело, открытие такого явления представляет собой крупнейший вклад в наши знания о природе.

**М. А. Смондырев,**  
кандидат физико-математических наук  
Объединенный институт  
ядерных исследований  
Дубна

одного из вариантов калибровочной теории с несохранением CP и барионного заряда исследована в работе: Kuzmin V. A., Tavkhelidze A. N. et al.—Phys. Lett., 1978, v. 76B, p. 436. См. также обзор: Долгов А. Д., Зельдович Я. Б. Космология и элементарные частицы.—Успехи физических наук, 1980, т. 130, с. 559.

## По химии — П. Берг, У. Гилберт, Ф. Сенгер

Нобелевская премия по химии за 1980 г. присуждена американскому исследователю П. Бергу за фундаментальные исследования биохимических свойств нуклеиновых кислот, в том числе рекомбинантных ДНК, американскому исследователю У. Гилберту и английскому исследователю Ф. Сенгеру за существенный вклад в установление первичной структуры ДНК.

Поль Берг (Paul Berg) родился в Нью-Йорке (Нью-Йорк, США) 30 июня 1926 г. В 1948 г. окончил университет в Пенсильвании, в 1952 г. получил степень доктор философии. С 1952 г. работает в Университете им. Дж. Вашингтона в Сен-Луисе (Миссури, США), с 1970 г. — профессор биохимии в университете в Стэнфорде. С 1966 г. член Американской академии искусств и наук.

Уолтёр Гилберт (Walter Gilbert) родился в Бостоне (Массачусетс, США) 21 марта 1932 г. В 1953 г. окончил университет в Гарварде, в 1957 г. получил степень доктора философии в университете в Кембридже (Велико-

британия). С 1957 г. работает в Национальном научном фонде (Гарвард), с 1972 г. — профессор биофизики в Гарвардском университете. С 1968 г. член Национальной академии наук.

Фредерик Сенгер (Frederick Sanger) родился в Рендкомбе (Глостершир, Великобритания) 13 августа 1918 г. В 1939 г. окончил университет в Кембридже, в 1943 г. получил степень доктора философии. С 1944 г. работает в Медицинском исследовательском совете в Кембридже, с 1951 г. руководитель отдела химии белка лаборатории молекулярной биологии (Кембридж). С 1954 г. член Лондонского королевского общества, с 1958 г. почетный член Американской академии искусств и наук. В 1958 г. стал лауреатом Нобелевской премии по химии за расшифровку структуры инсулина.

Пришло сенсационное известие из Стокгольма о вторичном награждении Нобелевской премией по химии Ф. Сенгера. Как известно, дважды в одной области науки она присуждается лишь в исключитель-

ных случаях. Поэтому награждение Ф. Сенгера подчеркивает выдающееся значение проводимых им исследований. Ф. Сенгер и У. Гилберт фактически отмечены за создание нового чрезвычайно эффективного метода расшифровки первичной структуры ДНК.

Известно, что генетическая информация закодирована в клетке в молекулах ДНК в виде последовательности четырех азотистых оснований: аденина (А), гуанина (Г), тимина (Т) и цитозина (Ц). В ДНК различных организмов их комбинация различна и повторяется от нескольких тысяч до многих миллиардов раз. Расшифровка такой последовательности, называемой также первичной структурой ДНК, считалась принципиально важной, но чрезвычайно трудной задачей. В этом отношении показательное мнение Э. Чаргаффа — патриарха в области изучения структуры ДНК. Всего лишь в 1968 г. он писал: «Детальное определение нуклеотидной последовательности в молекуле ДНК находится вне наших настоящих возможностей и маловероятно, что



П. Берг.

Фото ЮПИ — ТАСС.



У. Гилберт.

Фото ЮПИ — ТАСС.



Ф. Сенгер.

Фото ЮПИ — ТАСС.

окажется доступным в ближайшее время... Мы можем поэтому оставить задачу чтения полной нуклеотидной последовательности в ДНК XXI веку...»<sup>1</sup>. Однако уже в 1977 г., благодаря работам Ф. Сенгера и У. Гилберта, расшифровка первичной структуры ДНК стала доступной даже для средней биохимической лаборатории. И примерно тогда же исследования П. Берга открыли эру генетической инженерии, позволяющей, в частности, выделять индивидуальные гены для их структурного изучения.

Можно без преувеличения сказать, что большую часть плодотворной и исключительно целеустремленной научной деятельности Ф. Сенгер посвятил разработке методов расшифровки первичной структуры белков и нуклеиновых кислот. С их помощью он установил последовательность расположения сначала аминокислотных остатков в молекуле белка инсулина, а затем оснований в РНК и позднее в ДНК.

Работая в этой области, Ф. Сенгер проявил неистощимую изобретательность. В 1965 г. он предложил метить

РНК и ДНК для структурных исследований высокорadioактивным изотопом фосфора (<sup>32</sup>P). Этот прием стал основой всех последующих методов и позволил работать с материалом в количествах, меньших чем 10<sup>-6</sup> г. В его лаборатории родились и другие многочисленные методы, значительная часть которых пользуется популярностью и по сей день. С их помощью Ф. Сенгер и его сотрудники установили первичную структуру 5S РНК (120 оснований) в 1967 г. и ДНК фага Φ Х174 (5375 оснований) в 1977 г.

В настоящее время широко признан метод расшифровки первичной структуры ДНК, предложенный Ф. Сенгером с сотрудниками в 1977 г. С его помощью завершается определение расположения примерно 16 500 оснований в ДНК генома митохондрий человека и быка. Метод основывается на ферментативном синтезе высокорadioактивной комплементарной последовательности ДНК из изучаемой однитчатой ДНК, как на матрице<sup>2</sup>. Инициация синтеза с определенного места обеспечивается присутствием затравки — ко-

роткого олигонуклеотида, комплементарного выбранному участку. Реакция проводится в четырех параллельных пробах, к каждой из которых добавляется дидезоксипроизводное одного из четырех дезоксирибонуклеозидтрифосфатов. Дидезоксипроизводное вводится для специфической остановки (терминации) синтеза ДНК на одном из четырех оснований. Условия реакции подбираются оптимальными для образования полного набора всех возможных фрагментов различной длины, полученных остановкой реакции на заданном основании во всех его положениях вдоль синтезируемой нити ДНК.

Длина полученных фрагментов ДНК, измеряемая с помощью электрофореза в полиакриламидном геле, однозначно определяет положение соответствующего основания в образованной ДНК. Например, если при терминации синтеза на цитозине (Ц) образуются показанные на схеме фрагменты, содержащие 5, 6 и 9 оснований, то эти цифры точно указывают место цитозина на комплементарной ДНК. Таким же образом устанавливается место трех других оснований, что в итоге дает исчерпывающую информацию о первичной структуре комплементарной и, следовательно, исходной нити ДНК.

<sup>1</sup> Chargaff E. — Progress on Nucleic Acids Res. and Molec. Biol., 1968, v. 8, p. 297.

<sup>2</sup> Киселев Л. Л. Проект «Ревертаза» выполнен. — Природа, 1980, № 9, с. 78.

## Исследуемая ДНК

1        5            10  
 А Т А Ц Г Г Т Ц Г А

Фрагменты ДНК, полученные по методу:

Сенгера  
 Т А Т Г Ц\*  
 Т А Т Г Ц Ц\*  
 Т А Т Г Ц Ц А Г Ц\*

Мэксема — Гилберта

<sup>32</sup>р А Т А Ц Г  
<sup>32</sup>р А Т А Ц Г Г  
<sup>32</sup>р А Т А Ц Г Г

Схема методов Сенгера и Мэксема — Гилберта, позволяющих определить последовательность оснований в ДНК. Ц\* — терминирующее производное Ц, <sup>32</sup>р — радиоактивная метка изотопом фосфора.

В методе расшифровки первичной структуры ДНК, предложенном У. Гилбертом и его сотрудником А. Мэксемом в 1977 г., используется тот же принцип локализации оснований по величине соответствующих фрагментов ДНК. Однако здесь, чтобы получить фрагменты, вместо терминации синтеза ДНК специфически расщепляют исходную ДНК по одному основанию. Предварительно ДНК метят по ее 5'-концу высоко-радиоактивным изотопом фосфора (<sup>32</sup>р). При случайном расщеплении ДНК, например, по гуанину (см. схему), образуется набор фрагментов длиной в 4-5 и 8 основаниях. Размеры этих фрагментов однозначно устанавливают местоположение гуанина в последовательности оснований ДНК: 5-е, 6-е и 9-е места. Аналогичным образом находят место и для других трех оснований.

В отличие от метода Ф. Сенгера, метод Мэксема — Гилберта не был результатом длительных, планомерных исследований. Его принцип и близкий к окончательному вариант определения последовательности расположения аденина и гуанина был изложен в 1966 г. в совместной статье У. Гилберта, А. Мэксема и А. Д. Мир-

забекова (СССР)<sup>3</sup>. Эта работа была посвящена другой проблеме — определению участков взаимодействия ДНК с белками. Ранее в 1973 г. аналогичная идея совместного определения положения аденина и гуанина в нуклеиновых кислотах была экспериментально обоснована Е. Д. Свердловым, Г. С. Монастырской, А. В. Частухиным и Э. И. Будовским<sup>4</sup>. Для расщепления ДНК по аденину и гуанину в методе Мэксема — Гилберта использовалась схема реакций, предложенная А. Д. Мирзабековым, А. М. Колчинским и А. Ф. Мельниковой<sup>5</sup>. Эта схема включала метилирование аденина и гуанина и специфическое расщепление ДНК по метилированным основаниям. Для расщепления по тимину и цитозину используется их реакция с гидразином.

Основополагающую роль также играют работы У. Гилберта по выделению первого регуляторного белка — lac репрессора, контролирующего активностью лактозного гена (оперона)<sup>6</sup>; по изучению механизма специфического взаимодействия белков и ДНК; по установлению первичной структуры ряда ДНК, а также по клонированию гена — предшественника инсулина и синтезу этого белка в бактериальной клетке.

Методы Сенгера и Мэксема — Гилберта используются в настоящее время примерно в одинаковой мере и позволяют определять первичную структуру микрограммовых и еще меньших количеств фраг-

ментов ДНК, содержащих до 250 и более оснований. Выбор между двумя методами определяется как спецификой решаемой задачи, так и в какой-то мере вкусом экспериментатора.

Чтобы расшифровать первичную структуру более длинных участков, ДНК предварительно разрезают на короткие и доступные анализу фрагменты. Делают это с помощью особых ферментов — рестриктаз<sup>7</sup>, узнающих специфическую последовательность из нескольких оснований. Таким образом, без особых затруднений устанавливается последовательность нескольких тысяч и в некоторых, пока редких случаях, десятков тысяч оснований в ДНК. К настоящему моменту уже расшифрованы структуры более ста различных ДНК вирусного, бактериального, животного и растительного происхождения.

Опыты П. Берга и его сотрудников, выполненные в 1972 г., стали прологом к бурному развитию генетической инженерии<sup>8</sup>. В этих опытах впервые удалось получить рекомбинантные молекулы ДНК, в которых были соединены вместе ДНК бактериального вируса лямбда и обезьяньего вируса 40. Две молекулы ДНК соединяли друг с другом с помощью комплементарных взаимодействий между полинуклеотидовой и полидезоксидениловой кислотами, присоединенных к их концам, и затем ферментативно сшивали.

Эффект этих экспериментов превзошел все ожидания, но на первых порах оказался совершенно неожиданным. Многие специалисты, а также широкая общественность выражали обоснованные опасения, что такого рода эксперименты могут привести к созданию новых не контролируемых человеком видов организмов, среди которых могут оказаться, в частности, патогенные бактерии. В связи с этим П. Берг и

<sup>3</sup> Gilbert W., Maxam A., Mirzabekov A. — Alfred Benzon Symposium. Munksgaard, 1976, v. IX, p. 139.

<sup>4</sup> Sverdlov E. D., Monastyrskaya G. S., Chastukhin A. V., Budovsky E. I. — FEBS Letters, 1973, v. 33, p. 15.

<sup>5</sup> Mirzabekov A. D., Kolchinsky A. M. — Molecular Biology Reports, 1974, № 1, p. 379; Mirzabekov A. D., Melnikova A. F. — Ibidem, p. 385.

<sup>6</sup> Кисилев Л. Л. Молекулярная биология опухолеродных вирусов. — Природа, 1978, № 7, с. 13.

<sup>7</sup> Рысков А. П. Новые методы выделения генов эукариотов. — Природа, 1977, № 6, с. 85.

<sup>8</sup> Баев А. А. Генетическая инженерия. — Природа, 1976, № 1, с. 8.

другие специалисты предложили на созванной ими международной конференции в 1975 г. приостановить большинство работ по генетической инженерии впредь до выяснения их потенциальной опасности. Однако эти опасения оказались преувеличенными, и работы по генетической инженерии, проводимые при соответствующих мерах предосторожности, достигли в настоящее время небывалого размаха. Так, во многих лабораториях созданы библиотеки генов, клонированных и размноженных в бактериях в составе фагов или плазмид<sup>9</sup>. Они содержат ДНК различных организмов, в том числе человека. Из них можно выделить любой ген, коль скоро имеется специфический для него тест. Таким образом были получены многие гены и с помощью методов Сенгера или Мэксема — Гилберта установле-

<sup>9</sup> Алиханян С. И. Успехи и перспективы геной инженерии. — Природа, 1980, № 10, с. 62.

на первичная структура их ДНК.

Ранее П. Берг внес значительный вклад в изучение роли транспортных РНК в биосинтезе белка. В настоящее время он исследует рекомбинантные молекулы, в которых к ДНК обезьяньего вируса 40 присоединены различные гены. Животные клетки, зараженные таким химерным вирусом, начинают синтезировать необычные для них белки. Например, если в вирусную ДНК введены соответствующие гены, в клетках начинается синтез глобина или предшественника инсулина. Эти опыты открывают широкие возможности для установления механизмов регуляции активности генов.

Методы и идеи, заложенные в работах Ф. Сенгера, У. Гилберта и П. Берга, за короткий срок оказали огромное влияние на развитие фундаментальных и прикладных исследований. Так, например, Ф. Сенгер и его сотрудники доказали, что одна и та же нуклеотидная последователь-

ность в ДНК может кодировать несколько различных по структуре белков, что генетический код не универсален<sup>10</sup> и имеет свою специфику, по крайней мере, в митохондриях. С другой стороны, с помощью методов генетической инженерии проводятся успешные попытки изменения наследственных свойств высших организмов, а также получения в промышленном масштабе в бактериях ряда белков животного происхождения, например, человеческого инсулина, интерферона и др.<sup>11</sup>. И сегодня еще трудно оценить в полной мере новые возможности в науке, открывающиеся благодаря работам П. Берга, У. Гилберта, Ф. Сенгера.

Академик А. А. Баев

<sup>10</sup> Об этом см.: Универсален ли генетический код? — Природа, 1980, № 6, с. 110.

<sup>11</sup> Об этом см.: Получение интерферона с помощью геной инженерии. — Природа, 1980, № 10, с. 112.

## По медицине — Дж. Снелл, Б. Бенаццераф, Ж. Доссе

Нобелевская премия 1980 г. по медицине присуждена двум американским исследователям Дж. Снеллу, Б. Бенаццерафу и французскому исследователю Ж. Доссе за выдающиеся работы в области иммуногенетики.

Самому старшему из них Джорджу Дэвису Снеллу (George Davis Snell) недавно исполнилось 77 лет. Он родился 19 декабря 1903 г. в Бредфорде (Массачусетс, США). Степень бакалавра наук получил в колледже Дартмунта, а степень доктора медицины — в Гарвардском университете (1930). В 1929—1930 гг. преподавал зоологию в Дартмуте и университете Провиденса. В 1933—1934 гг. — ассистент профессора в Университете им. Вашингтона в Сент-Луисе.

С 1935 по 1969 г. работал в Джексоновской лаборатории в Бар-Харборе. В настоящее время он заслуженный профессор в отставке этой лаборатории.

Началом зарождения иммуногенетики следует считать 40—50-е годы нынешнего столетия. В этот период Дж. Снелл, работая на чистых линиях мышей<sup>1</sup>, впервые сформулировал 5 основных генетических законов совместимости тканей: изотрансплантаты, т. е.

трансплантаты в пределах одной чистой линии приживаются; аллотрансплантаты, т. е. трансплантаты между разными линиями отторгаются; трансплантаты любой из родительских линий приживаются; трансплантаты родительской линии, пересаженные гибридам второго поколения или потомкам гибридов первого поколения, полученным при возвратном скрещивании с другой родительской линией, приживаются лишь у очень небольшой части реципиентов; на гибридах первого поколения приживаются трансплантаты от гибридов второго и всех последующих гибридных поколений, а также трансплантаты от потомков, полученных в результате возвратного скрещивания. Суть этих законов (с современной точки

<sup>1</sup> Генетически чистая линия — популяция гомозиготных животных, т. е. животных, которые неотличимы генетически, подобно однояйцевым близнецам у человека. См. подробнее: Медведев в Н. Н. Линейные мыши. М.: Медицина, 1964.



Дж. Снелл в своем рабочем кабинете. Бар-Харбор, 1971 г.  
Фото Р. В. Петрова.



Б. Бенацераф после пресс-конференции, состоявшейся 10 октября 1980 г. в Бостоне по поводу присуждения ему Нобелевской премии.  
Фото ЮПИ—ТАСС.



Ж. Доссе со своей женой 10 октября 1980 г. перед зданием главной больницы в Торонто.  
Фото ЮПИ—ТАСС.

зрения) удивительно проста: достаточно самых незначительных генетических различий между донором пересаживаемой ткани и реципиентом, чтобы произошло отторжение чужеродного материала.

Дж. Снелл также завершил обобщение, согласно которому первопричиной реакции несовместимости является группа генов, локализованных в так называемых H-системах у мышей (от англ. H — histocompatibility — тканевая совместимость, гистосовместимость). Среди этих генетических систем (всего их около 14) имеется одна, с условным обозначением H-2, ведущая в конфликте отторжения чужеродной ткани. Детальное изучение этой системы вскрыло ее крайне сложную генетическую организацию. Достаточно сказать, что в H-2 системе находится около 500 генов. Некоторые из них контролируют не только приживление или отторжение ткани, но и регулируют самые разнообразные иммунные реакции защиты.

Серия исследований по основной системе гистосовместимости у мышей явилась предтечей поиска аналогичной системы у человека. Связано это было, в первую очередь, с необходимостью разработки иммуногенетических принципов трансплантации человеческого материала от индивидуума к индивидууму.

Жан Доссе (Jean Dausset) родился 19 октября 1916 г. в Тулузе. После окончания лицея Мишле в Вовере учился на медицинском факультете Парижского университета. С 1937 по 1959 г. был врачом в различных клиниках Парижа, а с 1963 г. работает в Иммунологическом институте университетской клиники Сан-Луи в Париже. С 1977 г. — член Академии наук. Ему принадлежат пионерские работы по трансплантации во Франции. Ж. Доссе был первым президентом Французского общества трансплантологов, он действительный и почетный член многих научных обществ и академий. Сейчас он президент Французского иммунологического общества.

В 1958 г. Ж. Доссе на основании изучения сыворотки от пациентов, которым неоднократно переливали чужую кровь, установил, что подобные сыворотки обладают способностью

выявлять чужеродные вещества (антигены) на лейкоцитах некоторых произвольно взятых людей<sup>2</sup>. Подобный прием поиска антигенов различий не нов. Он лежал в основе выявления антигенов групп крови у человека. Однако заслуга Ж. Доссе в том, что он первый обнаружил новую систему антигенов, связанных с лейкоцитами, установил ее генетическое разнообразие и определил доминирующее участие генов этой системы в развитии конфликта несовместимости при трансплантациях. В последующем лейкоцитарные антигены были объединены в единую систему и названы HLA (от англ. Human leukocytes — Antigens).

Детальная разработка генетических карт HLA послужила основой для подбора доноров и реципиентов, что позволило установить степень антигенной общности между ними, и таким образом стала возможной передача органов и тканей. В последующем в работу включились десятки ученых Англии, США, Голландии, Советского Союза. На сегодня система HLA изучена почти так же полно, как H-2 система мышей. Она широко используется для решения вопросов популяционной генетики, при подборе доноров для пересадки почек, костного мозга и других тканей. Установлены связи конкретных антигенов комплекса HLA с определенными болезнями. Но все-таки лоцманом в этой проблеме остается мышинный H-2 комплекс. Выяснилось, что система HLA — аналог H-2 системы мышей. Сходство между двумя системами касается как генетической организации, так и разнообразия контролируемых ими антигенных и иммунологических функций. Следует подчеркнуть, что данный факт имеет принципиальное значение. Он служит мостом между экспериментальной и клинической трансплантологией, дает в руки исследователей «мышиную модель» для изучения генетики,

биохимии и физиологии явления несовместимости — основу практического использования лабораторных данных.

Барух Бенацераф (Baruj Benacerraf) родился 19 октября 1920 г. в Каракасе (Венесуэла). Закончил лицей Янсона, а затем учился в Колумбии. Степень доктора медицины получил в 1945 г. В 1939 г. переехал в США и в 1943 г. принял американское подданство. С 1945 по 1946 г. занимался микробиологией на медицинском факультете Колумбийского университета. С 1970 г. профессор патологии медицинского факультета Гарвардского университета (Бостон, Massachusetts). В июле 1980 г. избран президентом Международного союза иммунологических обществ.

Начиная с конца 60-х годов появляется серия работ Б. Бенацерафа и его сотрудников по генетическому контролю силы иммунного ответа<sup>3</sup>. Тот факт, что сила иммунной реакции на чужеродный материал есть генетически обусловленное свойство, было известно ранее. Однако в 40—50-х годах не было возможности провести детальный генетический анализ этого явления, так как не было адекватных экспериментальных моделей. К началу 60-х годов иммунологи уже имели в своем распоряжении (заметим, усилием Дж. Снелла и большой группы генетиков, связанных с ним) значительное количество чистых линий животных (мышей, морских свинок, кроликов). Более того, к этому времени иммунохимики синтезировали белковые антигены с ограниченным спектром специфичности. Подобные немаловажные экспериментальные достижения позволили исследователям в строго контролируемых условиях следить за конкретным геном, обеспечивающим регуляцию иммунного ответа на определенный антиген. Выяснилось, что гены иммунного ответа локализо-

ваны в пределах главной системы гистосовместимости. Каждая особь имеет уникальный набор этих генов. Этот факт имеет принципиальное значение, так как позволяет заключить, что сила иммунного ответа на бактериальный, вирусный или трансплантационный антиген не является некоторым общим свойством всех людей или животных какого-либо вида. Напротив, сила иммунного ответа всегда конкретна — на определенный антиген определенной индивидуум отвечает определенной иммунной реакцией. Из этого следует практически важный вывод: в зависимости от исходной иммунной реактивности к вакцине применять такие схемы профилактической вакцинации, которые наиболее эффективны для данного индивидуума.

В последующем как Б. Бенацерафу с сотрудниками, так и большой армии иммунологов и иммуногенетиков удалось выяснить функциональную уникальность H-2 и HLA-систем в развитии иммунной реакции. Именно гены этих систем «дирижируют» иммунологической ситуации в организме, связано ли это с реакцией отторжения чужеродного трансплантируемого материала, с развитием аутоиммунных расстройств, созданием эффективной вакцинации, возникновением раковой патологии или иммунодефицитным состоянием.

Присуждение Нобелевской премии 1980 г. по медицине именно Дж. Снеллу, Ж. Доссе и Б. Бенацерафу как бы символизирует слияние трех первоначально самостоятельных научных направлений — генетики (Дж. Снелл), иммуногенетики (Ж. Доссе) и экспериментальной иммунологии (Б. Бенацераф) — в единый поток новой дисциплины под общим названием иммуногенетики, которая служит фундаментом всей современной иммунологии.

Академик АМН СССР  
Р. В. Петров

<sup>2</sup> Шумаков В. П., Мирский М. Б. Проблемы трансплантологии. — Природа, 1979, № 6, с. 62.

<sup>3</sup> Петров Р. В., Хаитов Р. М. Интеграция в иммунной системе. — Природа, 1976, № 12, с. 28.

## Космические исследования

**Запуски космических аппаратов в СССР (сентябрь—октябрь 1980 г.)**

В сентябре-октябре 1980 г. в Советском Союзе было запущено 15 космических аппаратов, в том числе 11 спутников серии «Космос» с научной аппаратурой, предназначенной для продолжения исследований космического пространства. На двух спутниках этой серии («Космос-1209 и -1212») установлена научная аппаратура для исследования природных ресурсов Земли в интересах различных отраслей народного хозяйства СССР и международного сотрудничества. Информация с этих спутников поступает в Государственный научно-исследовательский и производственный центр «Природа» для обработки и использования.

Транспортный космический корабль «Союз-38» доставил на орбитальную станцию «Салют-6» седьмой международный экипаж по программе «Интеркосмос» в составе летчика-космонавта СССР Ю. В. Романенко и космонавта-исследователя гражданина Республики Куба А. Тамайо Мендеса. В течение 7 дней члены международного экипажа совместно с космонавтами Л. И. Поповым и В. В. Рюминым выполнили обширную программу медико-биологических, технологических и геофизических исследований и экспериментов<sup>1</sup>.

Очередной автоматический грузовой транспортный корабль «Прогресс-11» доставил на орбитальную станцию «Салют-6» оборудование, аппа-

| Космический аппарат | Дата запуска | Параметры начальной орбиты |            |                  |                       |
|---------------------|--------------|----------------------------|------------|------------------|-----------------------|
|                     |              | перигей, км                | апогей, км | наклонение, град | период обращения, мин |
| «Космос-1209»       | 3.IX         | 222                        | 306        | 82,3             | 89,4                  |
| «Метеор-2»          | 9.IX         | 868                        | 906        | 81,2             | 102,4                 |
| «Союз-38»           | 18.IX        | 278*                       | 320        | 51,6             | 90,2                  |
| «Космос-1210»       | 19.IX        | 195                        | 268        | 82,3             | 88,8                  |
| «Космос-1211»       | 23.IX        | 215                        | 261        | 82,4             | 89,1                  |
| «Космос-1212»       | 26.IX        | 216                        | 275        | 82,3             | 89,1                  |
| «Прогресс-11»       | 28.IX        | 193                        | 270        | 51,6             | 88,8                  |
| «Космос-1213»       | 3.X          | 207                        | 343        | 72,8             | 89,6                  |
| «Радуга»            | 5.X          | 36 000                     | 36 000     | 0,4              | 1444                  |
| «Космос-1214»       | 10.X         | 181                        | 368        | 67,2             | 89,7                  |
| «Космос-1215»       | 14.X         | 499                        | 553        | 74               | 95,1                  |
| «Космос-1216»       | 16.X         | 209                        | 404        | 72,9             | 90,3                  |
| «Космос-1217»       | 24.X         | 642                        | 40 165     | 62,8             | 726                   |
| «Космос-1218»       | 30.X         | 178                        | 374        | 64,9             | 89,7                  |
| «Космос-1219»       | 31.X         | 205                        | 353        | 72,9             | 89,7                  |

\* Параметры орбиты после коррекции.

ратуру, материалы для обеспечения жизнедеятельности экипажа и проведения научных исследований, топливо для двигательной установки станции, а также почту.

11 октября 1980 г. завершился самый длительный в истории космонавтики 185-суточный пилотируемый космический полет космонавтов Попова и Рюмина<sup>2</sup>.

На очередном метеорологическом спутнике «Метеор-2» установлена аппаратура для получения глобальных изображений облачности и поверхности Земли в видимом и инфракрасном диапазонах спектра (в режимах запоминания и непосредственной передачи), а также радиометрическая аппаратура для непрерывных наблюдений за потоками проникающих излучений в околоземном космическом пространстве. Информация со спутника поступает в Государ-

ственный научно-исследовательский центр изучения природных ресурсов и Гидрометцентр СССР для обработки и использования.

Очередной спутник связи «Радуга» (международный регистрационный индекс «Стационар-3») имеет на борту усовершенствованную многоканальную ретрансляционную аппаратуру, с помощью которой в сантиметровом диапазоне волн осуществляется непрерывная круглосуточная телефонно-телеграфная радиосвязь и передача цветных и черно-белых программ Центрального телевидения СССР на сеть станций «Орбита».

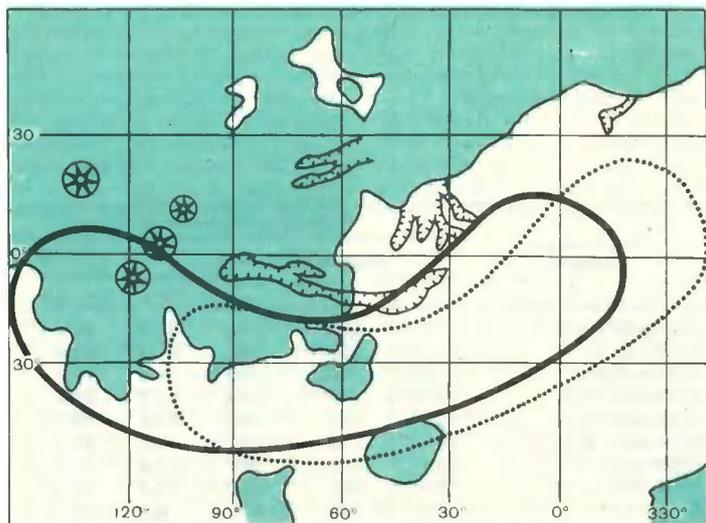
## Планетология

**Два геохимических типа коры Марса**

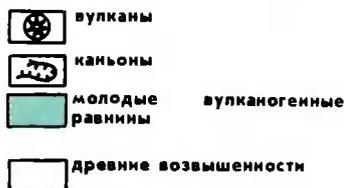
По фотографиям Марса, полученным с автоматических станций несколько лет назад, было установлено, что на планете имеется два основных ти-

<sup>1</sup> Подробнее о полете советско-кубинского международного экипажа см.: Природа, 1980, № 12, с. 88.

<sup>2</sup> О заключительном этапе этого полета см. Природа, 1981, № 1, с. 109.



Два района марсианской поверхности (показаны сплошной и пунктирной линиями), в которых с помощью «Марса-5» измерялось гамма-излучение слагающих пород.



па рельефа: древние возвышенности, покрытые крупными кратерами (материки), и более молодые вулканические равнины, занимающие пониженные участки. Эти два типа рельефа внешне аналогичны лунным материкам и морям и, вероятно, соответствуют двум различным типам коры. Анализ особенностей рельефа, сделанный на основе фотографии, позволил предположить, что породы, слагающие эти типы рельефа, различаются по химическому составу. Однако установить, каков состав материков и равнин Марса, по одним фотографиям было невозможно.

Измерения естественной радиоактивности пород, слагающих марсианскую поверхность, проведенные с помощью

гамма-спектрометра «Марса-5» — искусственного спутника планеты, позволили оценить содержание ряда химических элементов в поверхностном слое. (Количество естественных радиоактивных элементов, в частности урана и тория, служит хорошим индикатором геохимического типа горных пород.) Анализ спектров гамма-излучения, выполненный А. Т. Базилевским, Л. П. Москалевой, О. С. Манвелян и Ю. А. Сурковым (Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР) с учетом типа рельефа, над которым проводились измерения, и высоты спутника над поверхностью планеты, показал, что на Марсе имеется два геохимически различных типа пород.

Вулканогенные породы равнин по содержанию урана и тория близки к базальтам, типичным для Земли и лунных морей. Покрытые кратерами возвышенности Марса содержат меньше урана и тория, чем породы равнин; отличаются они и от гранитоидных пород, слагающих континенты Земли. Ближе всего по геохимическим свойствам материка Марса стоят к широко распространенному на материках Луны анортосит-норит-троктолитовому комплексу пород (на Земле эти породы крайне редки), хотя количество урана на Марсе несколько меньше.

Таким образом, можно говорить о принципиальном

геохимическом сходстве базальтов Земли, Луны и Марса. Древние же марсианские матерки, представляющие другой тип коры, резко отличны от гранитов, Земли и могут быть аналогичны породам лунных материков или представляют собой неизвестный пока химический тип вещества коры.

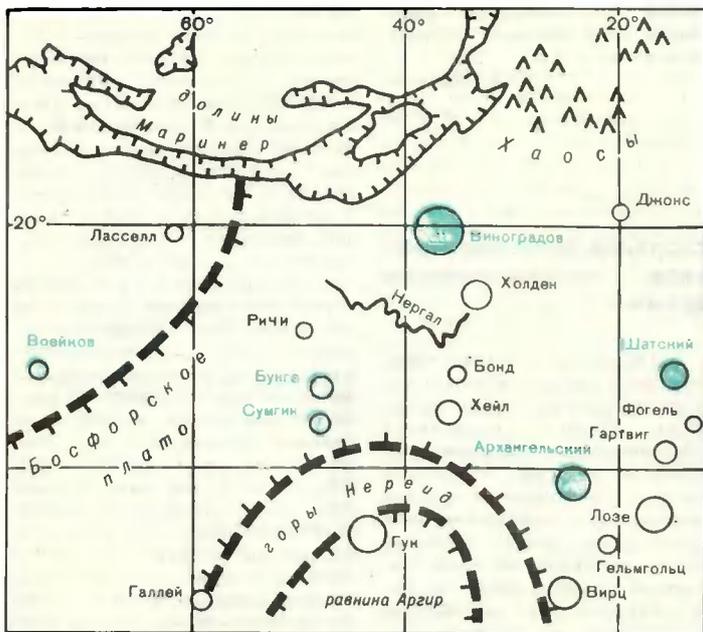
Геохимия, 1980, № 12, с. 1723—1728.

#### Планетология

### Новые имена на карте Марса

Международный астрономический союз утвердил предложенные советскими исследователями названия кратеров, долин и плато в районе Эритрейского моря на Марсе. Этот район был сфотографирован автоматическими станциями «Марс-4» и «Марс-5» в 1974 г. Шести крупным кратерам (диаметром от 70 до 200 км) присвоены имена исследователей, которые занимались изучением Марса или разрабатывали научные проблемы, применимые и к исследованию этой планеты. Это геологи А. Д. Архангельский и Н. С. Шатский, установившие ряд крупных закономерностей в геологическом строении Земли; зоолог и мерзлотовед А. А. Бунге, который впервые ввел представление о подземных льдах как об особой горной породе; М. И. Сумгин — основоположник мерзлотоведения в СССР; климатолог и географ А. И. Воейков, известный работами по общей циркуляции атмосферы, теории снега и палеоклимата, и геохимик А. П. Виноградов — организатор планетологических работ в СССР, исследователь химического состава атмосфер и поверхностей планет.

Восемнадцатью малым марсианским кратерам (диаметром в несколько км) даны названия деревень или небольших городов СССР; среди них Алитус (Литовская ССР), Гари (Свердловская обл.), Дубки (Владимирская обл.), Зилаир (Башкирская АССР), Кумак



Район Эритрейского моря на Марсе с новыми названиями деталей рельефа (цветные надписки).

Космические исследования

### Завершена четвертая длительная экспедиция на «Салюте-6»

(Оренбургская обл.), Луки (Калининская обл.), Мена (Черниговская обл.), Руза (Московская обл.) и Форос (Крымская обл.). Четырем долинам присвоены названия небольших рек Советского Союза — Осуга (Калининская обл.), Протва (Калужская обл.), Руна (Калининская обл.) и Сурина (Красноярский край). Ранее еще одна долина была названа Узбой<sup>1</sup> — по имени сухого русла в Каракумах, напоминающего своей безводностью долины Марса.

Крупная равнинная область теперь именуется Босфорским плато — по расположенной в этом районе Марса темной детали Босфор, известной по наблюдениям Марса в телескоп.

Transactions of the International Astronomical Union, 1980, v. XVIIIB, p. 307—353 (Голландия).

11 октября 1980 г. закончился самый длительный в истории космонавтики полет советских космонавтов Л. И. Попова и В. В. Рюмина, продолжавшийся 185 суток. Полностью выполнена обширная программа полета, включавшая большое число научных и технических экспериментов, совместную работу с членами четырех краткосрочных экспедиций (среди них — трех международных), значительные по объему ремонтно-профилактические работы, позволившие увеличить срок активного функционирования станции «Салют-6», разгрузку четырех автоматических кораблей «Прогресс», операции по перестыковке кораблей «Союз» и другие мероприятия.

В сентябре — октябре 1980 г. космонавты выполнили работы завершающего этапа. В очередных технологических экспериментах на установках «Сплав» и «Кристалл» в условиях слабой гравитации были выращены монокристаллы полупроводниковых материалов —

теллурида свинца, арсенида галлия, соединения кадмий-ртуть-теллур. В общей сложности Попов и Рюмин провели около 70 экспериментов, в которых были получены полупроводниковые материалы, металлические сплавы и соединения с новыми свойствами.

В соответствии с программой исследования природных ресурсов Земли и изучения окружающей среды космонавты вели наблюдения и фотосъемки отдельных районов земной суши и акватории Мирового океана, в частности юго-западных областей Советского Союза. По заданию океанологов и метеорологов они наблюдали динамику морских течений в Атлантическом и Индийском океанах, обнаружили динамические образования в районах Саргассова и Карибского морей, Мексиканского залива, сфотографировали атмосферные фронты в различных районах земного шара и тропические циклоны в экваториальной зоне планеты.

Много внимания экипаж уделял медико-биологическим исследованиям. Особенно интенсивно на заключительном этапе космонавты занимались физическими упражнениями на комплексном тренажере, велоэргометре, «бегущей дорожке», вели тренировки с использованием вакуумного костюма «Чибис». Систематически проводилось контрольное медицинское обследование космонавтов.

Одной из важных задач, решаемых в ходе длительных экспедиции на «Салюте-6», было получение данных о влиянии невесомости и других факторов космического полета на развитие высших растений. С этой целью космонавты провели ряд экспериментов. В сентябре 1980 г. на Землю было передано, что некоторые из растений арабидопсис успешно прошли полный цикл развития. В заключительные дни работы с помощью установок ИФО-2 удалось оценить степень неблагоприятного воздействия факторов космического полета на естественный мутационный процесс у семян высших растений.

Экипаж провел также ряд ремонтно-профилактических работ, выполнил технический эксперимент «Ампли-

<sup>1</sup> Природа, 1980, № 9, с. 88.

туда», в котором выяснялось влияние динамических нагрузок на отдельные элементы конструкции солнечных батарей, а также эксперимент по определению величины ускорений, возникающих при работе оборудования и выполнении различных динамических операций.

В период с 20 по 28 сентября 1980 г. космонавты Попов и Рюмин работали на станции вместе с членами советско-кубинского международного экипажа<sup>1</sup>.

28 сентября 1980 г. был запущен автоматический транспортный грузовой корабль «Прогресс-11», который 30 сентября состыковался с орбитальным пилотируемым комплексом «Салют-6» — «Союз-37» и доставил на орбиту оборудование, аппаратуру, материалы для обеспечения жизнедеятельности экипажа и проведения научных исследований, топливо для объединенной двигательной установки станции, а также почту.

11 октября 1980 г. в 12 ч 50 мин по московскому времени космонавты Попов и Рюмин вернулись на Землю в спускаемом аппарате космического корабля «Союз-37», совершившем мягкую посадку в 180 км юго-восточнее Джезказгана.

В результате работы на станции «Салют-6» четвертой экспедиции в научно-исследовательские лаборатории доставлено свыше 4,5 тысяч снимков различных районов суши и океана, около 40 тысяч спектрограмм атмосферы и поверхности Земли, отчеты о 150 часах наблюдений в интересах геологии, метеорологии, лесного и рыбного хозяйства и других отраслей, примерно 250 образцов новых материалов и покрытий, а также итоги многочисленных медико-биологических и астрофизических исследований.

185-суточная экспедиция на «Салюте-6» — еще один этап в исследовании и использовании космического прост-

ранства, открывающий дальнейшие перспективы мирного освоения космоса.

С. А. Никитин

Москва

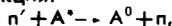
Физика

## Ускорение тепловых нейтронов возбужденными ядрами

Нейтроны не имеют электрического заряда, поэтому ускорять их электрическим полем нельзя. Однако существует принципиальная возможность увеличить энергию нейтронов путем их столкновений с долгоживущими возбужденными ядрами (изомерами)<sup>1</sup>. Известна реакция возбуждения ядра быстрым нейтроном, когда он теряет энергию при неупругом столкновении и замедляется:

$$n + A^0 \rightarrow A^* + n'.$$

Из принципа детального равновесия следует, что обязательно должна существовать и обратная реакция:



в результате которой возбужденное ядро переходит в основное состояние, а нейтрон уносит энергию возбуждения. Многие изомеры имеют большое время жизни (часы, сутки и даже годы), поэтому их можно накопить в необходимом для экспериментов количестве. Вероятность обратной реакции достаточно велика, однако долгое время ее не удавалось наблюдать, хотя было сделано несколько попыток в разных лабораториях мира.

Недавно И. А. Кондуров, Е. М. Коротких и Ю. В. Петров (Ленинградский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова АН СССР) впервые обнаружили реакцию ускорения тепловых нейтронов изомером европия <sup>152m</sup>Eu (время жизни возбужденного состояния 13,4 ч, энергия возбуждения 45,6 кэВ). На реакторе ВВР-М при облучении 25 мг изотопа <sup>152</sup>Eu в нейтронном потоке интенсивностью 10<sup>14</sup> нейтронов/см<sup>2</sup> бы-

ло получено 0,5 мг <sup>152m</sup>Eu. Затем мишень из полученного <sup>152m</sup>Eu подвергалась воздействию тепловых нейтронов (энергия 0,025 эВ), выведенных из того же реактора. Возникающие в результате обратной реакции быстрые нейтроны снова замедлялись в органическом стекле и детектировались счетчиками, заполненными поглотителем нейтронов — газом <sup>3</sup>He.

В результате 9 серий измерений эффект ускорения нейтронов был обнаружен на уровне, в 8 раз превышающем ошибку эксперимента. Сечение неупругого ускорения тепловых нейтронов в обратной реакции, приводящей к увеличению их энергии до 45,6 кэВ, т. е. более чем в миллион раз, оказалось равным (0,28 ± 0,06) барн. Эта величина хорошо согласуется с теоретическими оценками, в которых никакие ядерные запреты в расчет не принимались; отсюда можно сделать вывод о том, что обратная реакция не подавлялась. Между тем сам изомер <sup>152m</sup>Eu долго живет из-за того, что при возвращении его в основное состояние должна произойти сильная перестройка нуклонов в ядре. В результате вероятность электромагнитного перехода очень мала<sup>2</sup> (10<sup>-6</sup> — 10<sup>-8</sup>). В обратной реакции система «ядро + нейтрон» проходит стадию составного ядра, в которой различные состояния нуклонов сильно перемешаны, и поэтому вероятность такого перехода очень велика.

Письма в ЖЭТФ, 1980, т. 31, с. 254.

Физика

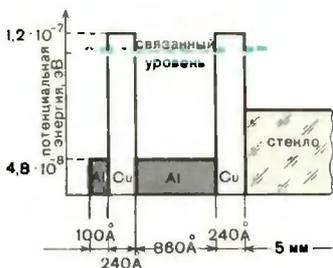
## Связанные состояния нейтронов в веществе

В 1970 г. Ю. М. Каган (Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова) предсказал, что ультрахолодные нейтроны с энергией ~ 10<sup>-7</sup> эВ, попадая внутрь вещества, могут

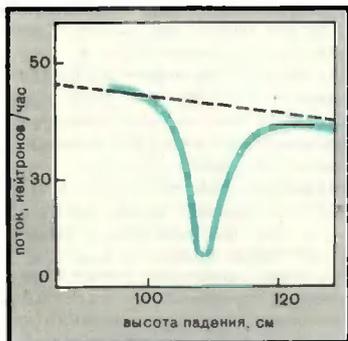
<sup>1</sup> Подробнее о полете этого международного экипажа см.: Природа, 1980, № 12, с. 88.

<sup>1</sup> Петров Ю. В. ЖЭТФ, 1959, т. 37, с. 1170.

<sup>2</sup> Egidy T. von et al. Z. Phys., 1978, В. А286, S. 341.



Отражающая трехслойная мишень [показаны также стеклянная подложка и защитная пленка алюминия].



Зависимость интенсивности отраженного нейтронного потока от энергии [высоты падения] нейтронов.

образовывать в нем связанные состояния<sup>1</sup> с дискретными значениями энергии  $\sim 10^{-7}$  эВ. Поскольку в большинстве случаев между ядрами вещества и ультрахолодными нейтронами наблюдается слабое отталкивание с потенциальной энергией указанного выше порядка, связанные состояния могут возникать, например, внутри микроруп поперечником около  $10^{-6}$  см. В этом случае микропость ведет себя по отношению к нейтрону как потенциальная яма с барьером, расположенной вдоль ограничивающей полость стенки. Таким образом, пористое вещество может стать своеобразной губкой,

пропитанной ультрахолодными нейтронами, и играть роль их хранилища.

Для создания и исследования таких связанных состояний А. А. Серегин (Физико-энергетический институт, Обнинск) предложил применить трехслойные пленки-мишени из веществ с различным ядерно-нейтронным взаимодействием (т. е. отличающихся высотой потенциального барьера)<sup>2</sup>; речь шла о приготовлении своего рода «сэндвича», начинка которого отталкивала бы нейтроны слабее, нежели его внешние обкладки. Такая трехслойная система представляет для нейтронов двугорбый потенциальный барьер с ямой посередине. При достаточно большой глубине и ширине этой ямы в ней может возникать квазисвязанное состояние нейтрона. Как известно из квантовой механики, проникаемость такого барьера для частиц самая большая, когда их энергия совпадает с энергией связанных состояний. Отсюда, в частности, следует, что трехслойные мишени могут служить сепараторами нейтронов, сортируя их по энергиям.

Недавно К. Штейнхаузер и А. Штайерл (Технический университет, Мюнхен, ФРГ) с помощью специально созданного нейтронного гравитационного дифрактометра<sup>4</sup> обнаружили такие связанные состояния нейтронов. Эти состояния с энергиями  $\sim 10^{-7}$  эВ внутри нанесенной на стеклянную подложку трехслойной мишени (медь-алюминий-медь) были обнаружены по резкому уменьшению интенсивности отраженного от мишени потока нейтронов, когда их энергия совпадала с энергией одного из квазисвязанных состояний, равной в условиях опыта  $\sim 1,1 \cdot 10^{-7}$  эВ.

<sup>2</sup> Серегин А. А. ЖЭФ, 1977, т. 73, вып. 5, с. 1634.

Термин «квазисвязанный» означает, что нейтрон проводит в яме лишь конечное время, после чего он покидает ее, туннелируя сквозь потенциальный барьер.

<sup>1</sup> О принципе работы прибора см. в этом номере: А. И. Франк. Ультрахолодные нейтроны, с. 30.

Была также проведена независимая серия измерений, в которых определялось пропускание нейтронов трехслойной мишенью того же состава, но с большей толщиной внутреннего алюминиевого слоя. Мишень наносилась на подложку из кремния толщиной 0,25 мм, пропускавшей 70% общего потока нейтронов с энергией  $10^9 - 10^7$  эВ. В этом случае на кривой, показывающей зависимость прошедшего сквозь мишень нейтронного потока от энергии, наблюдалось два резких максимума, соответствовавших двум первым связанным состояниям.

Экспериментальные результаты всех серий совпали с теоретическими предсказаниями.

Physical Review Letters, 1980, v. 44, No 20, p. 1306 (США).

Физика

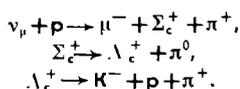
### Открытие нового очарованного бариона

В экспериментах, проведенных интернациональной группой физиков из Англии, Бельгии, Италии и Франции, впервые наблюдалось рождение и распад очарованного бариона  $\Sigma_c^+$ . Это положительно заряженная частица с квантовым числом — очарованием, равным единице; она принадлежит к классу барионов, т. е. состоит из трех кварков, один из которых — очарованный кварк с. Ранее уже сообщалось об открытии нескольких очарованных барионов<sup>1</sup>. Всего теория предсказывает десять очарованных барионов со спином 3/2 и двенадцать — со спином 1/2 (им, кроме того, соответствуют античастицы).

Эксперименты проводились в ЦЕРНе (Женева) на так называемой Большой европейской пузырьковой камере (Big European Bubble Chamber, BEBC). В нее помещалась чувствитель-

<sup>1</sup> Каган Ю. М. Письма в ЖЭФ, 1970, т. 11, вып. 4, с. 235.

ная мишень, содержащая около  $3 \text{ м}^3$  жидкого водорода при температуре  $29,5 \text{ К}$ . Мишень облучалась пучком нейтрино, созданным протонами, ускоренными до  $350 \text{ ГэВ}$ . Наблюдения за треками частиц в мишени и окружающей ее водородо-неоновой смеси позволили изучить взаимодействие нейтрино с одиночными протонами мишени. Всего было зарегистрировано 400 таких событий. Одно из них интерпретировалось как рождение очарованного бариона и его последующий распад по схеме:



В этой цепочке реакций  $\Lambda_c^{+}$  — ранее уже наблюдавшийся очарованный барион.

Установлено, что масса нового бариона  $(2457 \pm 4) \text{ МэВ}$ , а разность масс  $\Delta M(\Sigma_c^{+} - \Lambda_c^{+}) = (168 \pm 3) \text{ МэВ}$ . Найдена также масса  $\Lambda_c^{+}$ , равная  $(2290 \pm 3) \text{ МэВ}$ , что находится в согласии с предыдущими экспериментами.

Барион  $\Sigma_c^{+}$  входит в один триплет с ранее открытым барионом  $\Sigma_c^{++}$ , и, следовательно, массы этих двух частиц должны быть близки<sup>2</sup>. Действительно, привлекая другие экспериментальные данные, авторы работы нашли, что  $\Delta M(\Sigma_c^{++} - \Sigma_c^{+}) = (0 \pm 4) \text{ МэВ}$ . Обнаружение очарованного бариона  $\Sigma_c^{+}$  — первый результат, полученный на новой мишени, установленной в BEBC.

Physics Letters, 1980, v. 93B, p. 521 (Нидерланды).

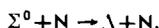
### Физика

## Обнаружены гипер-ядра, содержащие $\Sigma^0$ -частицы

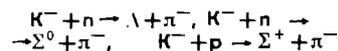
Группа исследователей из Гейдельберга (ФРГ), Сакле и Страсбурга (Франция), занимающихся изучением гипер-ядер с помощью протонного синхро-

трона в ЦЕРНе (энергия  $28 \text{ ГэВ}$ ), наблюдали образование гипер-ядра  ${}^9_{\Sigma}\text{Be}$  — иначе говоря, связанной ядерной системы из 4 протонов, 4 нейтронов (образующих ядро  ${}^8\text{Be}$ ) и  $\Sigma^0$ -гиперона.

Эти первые надежные данные о существовании достаточно долго живущего  $\Sigma$ -гипер-ядра довольно неожиданны. Начиная с 1952 г., когда М. Даньш и Й. Пневский (Варшавский университет и Институт ядерных исследований, ПНР) открыли в ядерной эмульсии, облученной космическими лучами, первое гипер-ядро, наблюдались только гипер-ядра, содержащие  $\Lambda$ -частицу. Считалось, что  $\Sigma$ -гипер-ядро будет иметь очень малое время жизни, так как, в отличие от  $\Lambda$ -гиперона,  $\Sigma^0$ -гиперон в ядерной среде может исчезнуть в результате сильного взаимодействия с нуклонами



До начала 70-х годов гипер-ядра изучались главным образом с помощью ядерных эмульсий и пузырьковых камер. Эксперимент, в котором наблюдалось образование гипер-ядра  ${}^9_{\Sigma}\text{Be}$ , совершенно другого рода. Его принципиальная схема была предложена в 1969 г. Р. Далитцем (Оксфордский университет, Великобритания). Бериллиевая мишень облучалась пучком  $K^-$ -мезонов с импульсом  $720 \text{ МэВ/с}$ . Попадая в ядро  ${}^9\text{Be}$ , каон взаимодействует с одним из его нуклонов, и в результате реакций



рождаются гипероны и  $\pi^-$ -мезоны. Гипероны остаются в ядре  ${}^9\text{Be}$ , заняв то состояние, которое до них занимал нуклон, провзаимодействовавший с каоном. Пионы вылетают из ядра и регистрируются счетчиками; совпадение импульсов от счетчиков, регистрирующих падающий каон и вылетающий пион, указывает на то, что произошло образование гипер-ядра. Так как импульсы каонов и пионов известны, из кинематических соотношений можно определить состояние гипер-ядра.

Созданный в Сакле спектрометр, с помощью которого анализировалось импульсное

распределение вылетающих пионов, позволяет регистрировать эти частицы, рождающиеся при образовании  $\Lambda$ - и  $\Sigma$ -гипер-ядер, на одном спектре. Однако кинематические условия эксперимента таковы, что наблюдать образование гипер-ядра  ${}^9_{\Sigma}\text{Be}$  сложнее, чем гипер-ядра  ${}^9_{\Lambda}\text{Be}$ . Причина в том, что при фиксированном направлении вылета пионов (спектрометр регистрирует их в интервале углов  $0-6^\circ$ ) импульс, переданный каоном  $\Sigma$ -гиперону, оказывается в два раза больше, чем импульс, переданный  $\Lambda$ -гиперону. В результате возрастает вероятность рождения гипер-ядра в возбужденном состоянии. (Образование гипер-ядра с  $\Sigma^{+}$ -частицей не наблюдалось, что связано с гораздо меньшим сечением реакции  $K^{-} + p \rightarrow \Sigma^{+} + \pi^{-}$ , чем реакции  $K^{-} + p \rightarrow \Lambda(\Sigma) + \pi^{-}$ , при выбранном импульсе каонов.)

На полученном спектре  $\pi^-$ -мезонов видны два двугорбых пика приблизительно одинаковой ширины. Первый пик соответствует образованию гипер-ядра  ${}^9_{\Lambda}\text{Be}$ , второй, находящийся приблизительно на  $80 \text{ МэВ}$  выше, — образованию гипер-ядра  ${}^9_{\Sigma}\text{Be}$ . Подобие тонкой структуры пиков указывает на то, что, по-видимому, гипер-ядро  ${}^9_{\Sigma}\text{Be}$  образуется в разных состояниях, так как известно, что два горба в сечении образования гипер-ядра  ${}^9_{\Sigma}\text{Be}$  соответствуют взаимодействию каона с нейтронами ядра  ${}^9\text{Be}$ , находящимися на разных уровнях среднего поля. Разность в энергетическом положении пиков связана главным образом с разностью масс  $\Sigma^0$  и  $\Lambda$ -гиперонов ( $77 \text{ МэВ}$ ), но не сводится только к ней. Остающийся сдвиг в  $3 \text{ МэВ}$  указывает на то, что  $\Sigma^0$  и  $\Lambda$ -гиперон по-разному взаимодействуют с ядром.

Но самым удивительным является малая ширина пика, соответствующего образованию гипер-ядра  ${}^9_{\Sigma}\text{Be}$ . Она меньше  $8 \text{ МэВ}$ , и экспериментаторы различают даже отдельные уровни ядра  ${}^9_{\Sigma}\text{Be}$ . Если этот результат будет подтвержден, возникает проблема, как объяснить задержку распада  $\Sigma^0$ -гиперона в ядерной среде по каналу сильного взаимодействия?

Physics Letters, 1980, v. 90B, № 4, p. 375 (Нидерланды).

<sup>2</sup> О классификации частиц по мультиплетам см.: Шехтер В. М. Кварки. — Природа, 1980, № 2.

Физика

От токамака к сферомаку

Как известно, для успешной реализации управляемой реакции ядерного синтеза необходимо нагреть дейтерий-тритиевую газовую смесь до температуры  $\sim 10^8$  К при плотности  $\sim 10^{15}$  см<sup>-3</sup> и удержать получившуюся плазму в течение времени, достаточном для интенсивного протекания термоядерной реакции. Наиболее перспективной для решения этой задачи считается система токамак<sup>1</sup>, термоизоляция и удержание плазмы в которой осуществляется с помощью магнитного поля, силовые линии которого всюду параллельны стенкам тороидальной камеры. Создание этого поля связано, как известно, со значительными трудностями. Кроме того, оно пространственно неоднородно и не согласовано с движением возникающей при разряде плазмы, что приводит к неустойчивости плазменного шнура.

Еще в 50-х годах были открыты и изучены устойчивые космические плазменные образования тороидальной формы, магнитное поле в которых создается и поддерживается токами самой плазмы (плазменный парамагнетизм). Поэтому возникла заманчивая идея попытаться искусственно создать тороидальную конфигурацию плазмы с таким самосогласованным азимутальным полем. Недавно первый такой успешный эксперимент был проведен специалистами Мэрилендского университета (США). Им удалось получить долгоживущий (время жизни  $\sim 30$  мкс) устойчивый сгусток дейтериевой плазмы вытянутой сфероидальной формы с ионной температурой  $\sim 10^7$  К и плотностью электронов  $\sim 10^{15}$  см<sup>-3</sup>, названный авторами «парамагнитным сферома-

ком». Во время существования сгустка не было замечено каких-либо крупных его колебаний; измеренная внутри сфероида структура магнитного поля оказалась весьма сложной со структурой поля токамака. (Напомним, что в «Токмаке-10», созданном в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова, получена плазма с ионной плотностью  $\sim 10^{14}$  см<sup>-3</sup>, температурой  $(7-8) \cdot 10^6$  К и временем удержания  $\sim 60$  мкс.)

Установка «Сферомак» состоит из цилиндрической разрядной камеры с расположенными по ее концам кольцевыми электродами. Часть камеры, заключенная между электродами, окружена катушкой с двумя обмотками, одна из которых намотана в обратном направлении по сравнению с первой. Первая катушка создавала в камере магнитное поле смещения с силовыми линиями, направленными вдоль оси камеры

и индукцией  $\sim 4$  кГс. Вторая, обратная катушка возбуждала в камере импульсное поле противоположного направления (оно нарастало до 10 кГс за  $\sim 1,5$  мкс).

Вначале в камере, заполненной газообразным дейтерием при давлении 15 мтор, создавалось поле смещения. Почти одновременно между электродами возбуждался разряд с силой тока, доходящей до 150 кА. В результате разряда в камере между электродами возникла цилиндрическая плазменная оболочка с азимутальным магнитным полем  $B_{\phi}$ , создаваемым током разряда. Взаимодействие тока разряда с полем  $B_{\phi}$  обжимало плазменный цилиндр (так называемый Z-пинч) вместе с заключенным в нем продольным магнитным потоком. Вслед за образованием плазмы и включением поля смещения вблизи наружной поверхности плазменного цилиндра создавалось магнитное

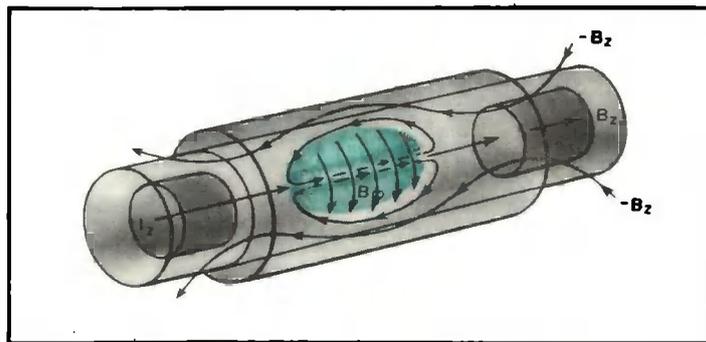
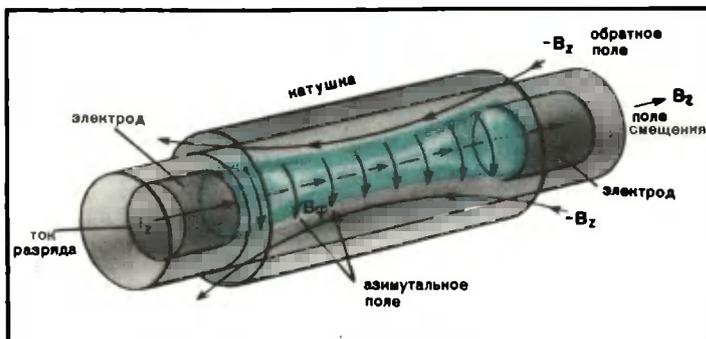


Схема сферомака. Сжатие плазменного цилиндра (показан цветом) импульсным обратным полем (вверху).

Образовавшийся сфероид в состоянии равновесия (внизу).

<sup>1</sup> Подробнее о токамаках см. напр.: Кадо м - це в Б. В. Физика токамаков (к 70-летию со дня рождения Л. А. Арцимовича). — Природа, 1979, № 2.

поле противоположного направления. Возникавшие при этом в плазме индукционные азимутальные  $I_\phi$  токи, экранируя внутреннюю область плазмы от проникновения в нее обратного поля, одновременно взаимодействовали с полем смещения, быстро сжимая плазменный цилиндр к его оси ( $\beta$ -пинч). В конце концов плазма отрывалась от электродов, происходила быстрая перестройка внутреннего магнитного поля и токов внутри плазмы, формировалось замкнутое плазменное кольцо, быстро и без заметных неустойчивостей сжимавшееся к оси камеры. Через  $\sim 2$  мкс после включения обратного поля это кольцо принимало равновесную симметричную относительно оси Z форму сфероида с максимумом плотности плазмы, расположенным на расстоянии  $\sim 4,5$  см от его оси.

С помощью зонда измерялись различные компоненты магнитного поля в разных точках сфероида; выяснилось, что в нем существуют замкнутые магнитные поверхности тороидального типа с азимутальной компонентой поля, достигающей максимума также на расстоянии  $\sim 4,5$  см от оси. Механизм перестройки магнитного поля и плазменных токов, происходящей при образовании сфероида, пока неясен.

Physical Review Letters, 1980, v. 44, № 6, p. 393 (США).

Химия

## Способ осуществления каталитических реакций

Известно, какую важную роль в химической переработке нефти, в процессах получения жидкого синтетического топлива из ископаемых углей играют каталитические реакции присоединения водорода (гидрогенизации) и расщепления тяжелых молекул с присоединением водорода и образованием более легких продуктов (деструктивной гидрогенизации). Так как масштаб этих производств громаден, вопро-

сы регенерации дорогостоящих катализаторов и увеличения сроков их службы приобрели первостепенное значение.

Недавно В. В. Лунин, Б. В. Романовский и Х. Н. Асхабова (химический факультет МГУ) предложили новый способ осуществления каталитических реакций водорода с углеводородами, значительно увеличивающий срок службы катализатора. В новом методе используется так называемый эффект спилловера, т. е. способность активированного катализатором водорода «растекаться» по поверхности катализатора, при этом активированный водород может мигрировать, не претерпевая значительной дезактивации, на расстоянии порядка 0,5—10 мм. Стекая с катализатора, такой водород способен накапливаться до значительных концентраций на инертных носителях (кварце, цеолите и т. п.). Было предложено отделить в химическом реакторе зону активации водорода на катализаторе от зоны взаимодействия углеводородов с собранным на носителе активированным водородом. В новых реакторах водород, активированный на таких катализаторах, как рутениевая чернь или гидриды интерметаллических соединений, переносится током газа на инертный носитель; здесь он взаимодействует с углеводородом, поступающим в виде смеси с гелием или другими газами. Таким образом, превращение углеводородов происходит без прямого контакта с катализатором, что предотвращает его отравление.

В новых реакторах каталитическая активность сохраняется значительно дольше, чем при совместной подаче обоих реагентов в зону катализатора. Определение выходов реакций простой и деструктивной гидрогенизации показало высокую эффективность предложенного метода. Например, степень превращения  $n$ -пентана и изоктана в метан достигала 60 и 90% соответственно, степень гидрогенизации этилена и бензола в этан и циклогексан превышала 80 и 70%. Кроме того, разделение стадий активации и взаимодействия активированного водорода с угле-

водородами открывает также новые пути исследования механизма каталитических реакций простой и деструктивной гидрогенизации.

«Доклады АН СССР», 1980, т. 250, № 4, с. 896.

Иммунология

## Гены, регулирующие действие интерферона

Исследования, проведенные на мышцах О. Халлером, Х. Арнхайтером, Дж. Линдерманном и И. Грессором (Институт изучения рака, Виль-Жуиф, Франция и Цюрихский университет, Швейцария), показали, что клетки этих животных содержат специальный ген, названный геном Мх, который влияет на интенсивность действия интерферона. Оказалось, что клетки мышей, которые содержали этот ген, нуждались в значительно меньшем количестве интерферона для защиты от вируса гриппа, чем клетки, в которых интерферон отсутствовал. Обнаруженное различие касалось только данного вируса; для защиты от вирусов другого типа обоим видам клеток требовалось одинаковое количество интерферона. Эти результаты с высокой степенью вероятности показывают причину сопротивляемости к вирусу гриппа у определенных линий мышей.

Е. де Майер и Дж. Майер-Гуинар (Институт Кюри, Орси, Франция) провели аналогичные эксперименты на людях. Им также удалось продемонстрировать, что стимулирующее или ингибирующее действие интерферона на некоторые иммунные реакции зависит от набора определенных генов в геноме людей, которым вводили интерферон. Эти данные могут объяснить разноречивость результатов применения интерферона в клиниках.

Nature, 1980, № 283, p. 660; № 284, p. 173 (Великобритания).

Подробнее об интерфероне см. в этом номере статью Г. Д. Кобринского «Интерферон».

## Медицина

**Сердце — «орган-мишень» для андрогенов**

Известно, что гормоны, которые вырабатываются эндокринными железами и затем разносятся по всему организму, воздействуют лишь на определенные органы — их называют органами-мишенями для данного гормона. Клетки таких органов содержат белок-рецептор, специфически связывающийся с этим гормоном и участвующий в его переносе из внеклеточной среды сначала в цитоплазму, а затем в ядро, где он и оказывает свое действие. До сих пор считалось, что мишенями для половых гормонов являются половые органы и некоторые эндокринные железы (гипофиз, гипоталамус, надпочечники). Однако в последнее время появились сообщения о возможном влиянии этих гормонов на сердце.

Недавно группа американских исследователей Х. Макгил, Ф. Анселмо, Дж. Буханен и Р. Шеридан из Национального центра здоровья при Техасском университете получили прямые доказательства такого влияния. Им удалось в мышечных клетках сердца (миокардиоцитах) обезьян обнаружить и выделить в чистом виде рецепторный белок, специфически связывающийся с мужскими половыми гормонами — андрогенами.

В своих экспериментах исследователи удаляли у половозрелых самок макак (*Macaca mulata*) и павианов (*Papio spherhalus*) яичники и надпочечники и вводили им один из мужских половых гормонов — тестостерон, меченный изотопом. Когда срезы замороженной сердечной мышцы, взятой от этих животных, покрыли фотографической эмульсией, а затем проявили, оказалось, что уже через час после введения гормона обильная изотопная метка появляется в миокардиоцитах. Она отчетливо обнаруживалась у всех животных в различных отделах сердца в виде темных гранул — зерен серебра, выпавших на фотографической эмульсии в месте включения изотопа в клетки.

Сначала такие зерна локализовались главным образом в клеточной цитоплазме, где гормон соединяется с белком-рецептором, а затем перемещались в ядро, где он постепенно накапливается.

После механического разрушения клеток сердечной мышцы исследователям удалось выделить и сам белок-рецептор, связанный с меченым тестостероном. Его содержание в миокардиоцитах оказалось довольно значительным, что позволяет в дальнейшем детально изучить его структуру и свойства.

Таким образом, доказано, что миокардиоциты сердечной мышцы являются клетками-мишенями для андрогенов. Этот факт позволяет, очевидно, по-новому подойти к изучению таких явлений, как более высокая степень риска поражения сердечно-сосудистой системы, большой процент смертности от инфаркта миокарда у мужчин по сравнению с женщинами.

Science, 1980, v. 207, № 4432, p. 775—776 (США).

## Биология

**Новый способ мечения грызунов**

Мечение животных широко используется во многих экологических работах. Обычно применяют индивидуальные метки, но в ряде случаев достаточно информативными оказываются и групповые метки, позволяющие отличать данную группу животных от всех остальных. Г. А. Клевезаль и М. В. Мина (Институт биологии развития им. Н. К. Кольцова АН СССР) предложили использовать в качестве групповой метки грызунов антибиотики тетрациклинового ряда — тетрациклин, хортетрациклин, окситетрациклин. Введенные в организм с пищей или путем инъекции, они включаются в растущие участки зубов и костей, длительно сохраняются в

них и могут быть легко обнаружены по интенсивной желтой флуоресценции этих участков в ультрафиолетовом свете.

Авторы вшивали порошок тетрациклина в запаренные овсяные хлопья, делили всю массу на шарики весом по 3 г (в каждом таком шарике содержалось по 2 мг тетрациклина), смачивали их подсолнечным маслом и выкладывали на площадках, где планировалось групповое мечение грызунов. Такую прикормку охотно поедали полевые, лесные и желтогорлые мыши, рыжие полевки и серые хомячки. Через сутки остатки прикормки убирали. У грызунов, отловленных впоследствии на этой и соседних территориях, исследовали резцы как наиболее быстро растущие структуры. Для этого из неочищенного черепа вынимали один верхний резец, сошлифовывали его вдоль до обнажения пульпы и исследовали в условиях полевого стационара под лупой, используя в качестве источника ультрафиолетового света осветитель ОИ-18 (при отсутствии соответствующих условий исследование может быть отложено до конца полевого сезона, так как тетрациклин хорошо сохраняется в сухих или фиксированных спиртом зубах и костях).

У зверьков, взявших прикормку с тетрациклином, на продольном шлифе резца в ультрафиолетовом свете видна желтая полоска, идущая параллельно центральной полости пульпы по обе стороны от нее. Резцы грызунов растут и стачиваются постоянно в течение всей жизни животного, поэтому по положению желтой полоски можно сказать, за сколько дней до гибели животное получило тетрациклин: чем больше прошло времени, тем дальше от полости пульпы и от основания резца отстоит эта полоска. У мышей, отловленных через 20—30 дней после прикормки, тетрациклиновую метку видно без изготовления шлифа непосредственно на стачивающейся (грызущей) поверхности резца в виде желтого в ультрафиолетовом свете кольца.

Таким методом авторы

через 10—15 дней различали на обследуемых участках оседлых зверьков и иммигрантов, смогли выявить межвидовые различия миграционной активности мышей. Было установлено, что лесные мыши за 10 дней способны переходить из одной лесополосы в другую, расположенную на расстоянии до 1 км и отделенную пшеничным полем.

Преимущество этой методики мечения в том, что она нетрудоемка, а само мечение не избирательное. Тетрациклин можно обнаружить не только в резцах, но и в коренных зубах и в костях скелета, но в отличие от резцов, им свойственны сезонные и возрастные задержки роста. Резцы же растут постоянно, но и постоянно стачиваются, и метка со временем исчезает. У мышей метка сохраняется в верхних резцах чуть больше двух месяцев. При мечении молодых интенсивно растущих зверьков метку видно на шлифе коренных зубов, где она сохраняется пожизненно.

Таким путем можно мечить не только грызунов, но и животных других групп. Так, у хищных животных введенный с пищей тетрациклин включается в дентин и цемент зубов. Следует, однако, иметь в виду, что животным, не имеющим таких постоянно растущих структур, как резцы грызунов, метку лучше давать в период активного роста зубов.\*

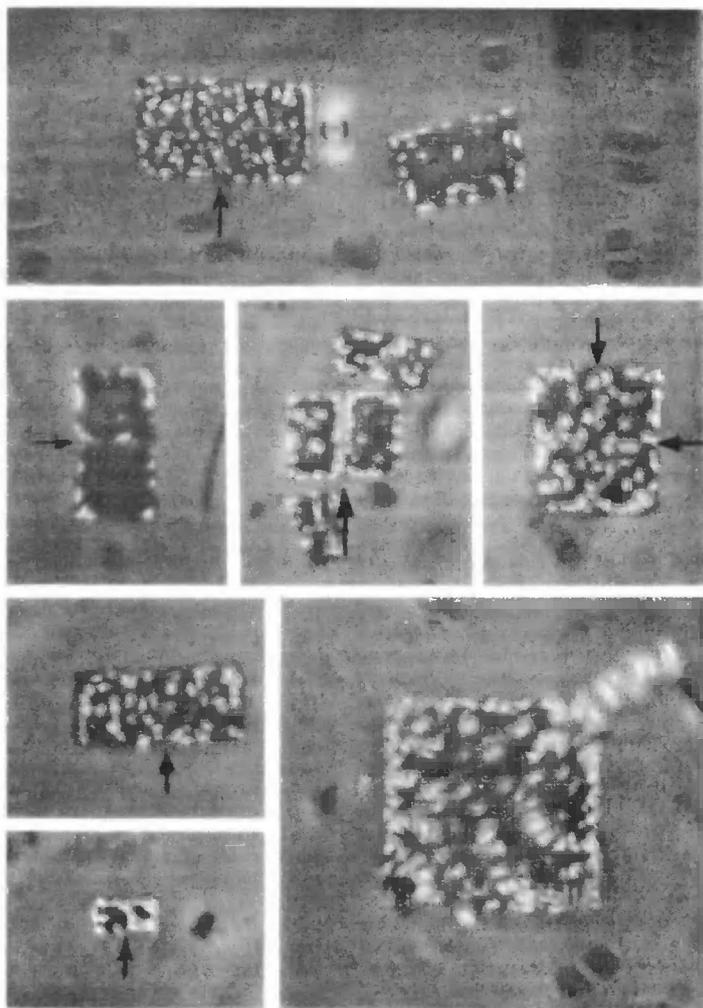
\*Зоологический журнал», 1980, т. 59, вып. 6, с. 936—941.

Микробиология

## Квадратные бактерии

Сообщения о находках бактерий необычной для живой природы квадратной формы в сильно засоленных водоемах появлялись неоднократно<sup>1</sup>, однако долгое время ставилось под сомнение, являются ли эти

<sup>1</sup> См., например: Имшенецкий А. А. Новые формы микроорганизмов. — Природа, 1978, № 4.



Квадратные бактерии под фазово-контрастным световым микроскопом. Светлые зоны — газовые вакуоли. Стрелками показаны линии деления бактериальных клеток.

бактерии живыми формами. Предполагалось, в частности, что это остатки бактериальных оболочек с прилипшими к ним пузырьковидными образованиями — газовыми вакуолями.

Исследованиями английского микробиолога А. Уэлсби убедительно доказано, что квадратные бактерии — действительно живые существа; опреде-

лена их систематическая принадлежность, выявлены основные причины поддержания квадратной формы.

Изучая пробы воды с пересыщенными солевыми растворами, взятыми с поверхности водоемов на Синайском п-ове, Уэлсби наряду с типичными галофильными (солелюбивыми) бактериями сферической, эллипсоидной и цилиндрической формы обнаружил также микроорганизмы треугольной, трапецевидной и квадратной формы, причем последние явно преобладали: до  $7 \cdot 10^7$  квадратных бактерий в 1 мл солевого раствора.

Квадратные бактерии имели вид тонких листов, толщиной 0,2—0,5 мкм, длиной 1,5—11 мкм. Их удавалось увидеть только в фазово-контрастном световом микроскопе благодаря наличию газовых вакуолей (структур, обеспечивающих плавучесть микроорганизмов и поэтому характерных для всех планктонных форм прокариот).

Доказательством того, что квадратные бактерии — живые формы, служит наблюдение их размножения — деления (см. рис.). Они делились по двум взаимно перпендикулярным направлениям, образуя комплексы из 2—8, а иногда и 16 бактерий, похожие на блоки почтовых марок.

При исследовании квадратных бактерий под электронным микроскопом установлено, что они имеют типичное для обычных галофильных бактерий строение. После напыления клеточных оболочек квадратных бактерий тяжелыми металлами на их поверхности выявлены частицы, образующие регулярные гексагональные решетки. Вся совокупность данных о строении квадратных бактерий указывает, что они принадлежат к группе галофильных бактерий *Archaeobacteria*.

Основываясь на установленной зависимости между величиной прилагаемого внешнего давления, под воздействием которого газовые вакуоли спадают, становясь невидимыми, и значением внутреннего тургорного давления, в значительной мере определяющего форму бактериальной клетки, Узлси удалось оценить величину последнего. Оказалось, что внутреннее тургорное давление очень мало или практически отсутствует.

На основании полученных данных А. Узлси делает вывод, что квадратная форма бактерий обусловлена характером ориентаций частиц на поверхности клеточных оболочек и отсутствием внутреннего тургорного давления у микроорганизмов в условиях высокой концентрации солей в окружающей их среде.

## Тектоническая карта Южной Америки

Комиссия по международным геологическим картам ЮНЕСКО впервые составила тектоническую карту всего материка Южной Америки<sup>1</sup>. Районирование на ней произведено по возрасту главной складчатости — этот принцип разработан советскими специалистами и с успехом применяется в отечественном тектоническом картографировании.

На карте выделены докембрийские, фанерозойские, постпалеозойские платформенные чехлы и области докембрийской, палеозойской и мезозойско-кайнозойской складчатости. Эти главные тектонические элементы подразделены на более мелкие единицы (например, докембрийские чехлы — на раннедокембрийские и позднедокембрийские). В складчатых областях, в свою очередь, показаны районы проявления разновозрастных деформаций.

На территории платформенных чехлов, занимающих большую (восточную) часть континента, почти повсеместно указана глубина залегания фундамента. Изогипсы глубин отражают структурный облик этих областей и определяют общую толщину чехла, местами достигающую 5—10 км. Меньшую (западную) часть континента, занятую горными системами Кордильер и Анд, характеризуют палеозойские и мезозойско-кайнозойские складчатые области.

На карте показаны также различные типы магматических пород и осадочные формации, основные направления простиранья горных пород, разломы разной морфологии и генезиса, антиклинали и синклинали, направления движения масс горных пород.

**А. Е. Шлезингер,**  
доктор геолого-минералогических наук  
Москва

## Гафний в осадках Тихого и Индийского океанов

Гафний — серебристо-белый треугольный металл, широко применяемый в ядерной энергетике, электронной и ракетной технике, авиации. За последние годы сотрудниками отдела физико-геологических исследований Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР собрана большая информация о содержании и формах нахождения этого элемента в донных осадках Тихого и Индийского океанов.

Е. Г. Гурвич и А. П. Лисицын, проанализировав содержание гафния в донных осадках различного типа, установили, что наименьшим содержанием отличаются карбонатные и кремнистые осадки. Скелетные компоненты осадков содержат гафний в очень незначительном количестве. Это не означает, что гафния вообще нет в живых организмах океана: по данным авторов, его среднее содержание в океанском планктоне в расчете на сухой вес — 0,17 г/т. Видимо, гафний больше связан с органическим веществом, чем со скелетами планктонных организмов.

В наибольших количествах гафний содержится в металлоносных отложениях. Это обусловлено захватом его из океанской воды рудными компонентами — гидроокисями железа и марганца эндогенной природы. С ними связано около 70% общего количества гафния в металлоносных отложениях. Среди «нормальных» осадков наиболее богаты этим элементом красные глубоководные глины Тихого океана.

Карты распределения гафния (в пересчете на бескарбонатное и бескремнистое вещество), составленные для Тихого и Индийского океанов, показывают, что наибольшее содержание гафния в осадках обоих океанов наблюдается в прибрежном поясе и уменьшается с удалением от берегов. В пелагических осадках его содержание снова повышается, причем аридные зоны характеризуются большим количеством

<sup>1</sup> Tectonic Map of South America. 1:5 000 000. General Coordinator F.F.M. Almeida. Rio de Janeiro, Brasil, 1978.

вом гафния по сравнению с гумидными зонами — особенно четко это проявляется в Тихом океане. Донные осадки подводных хребтов содержат значительно меньше гафния, чем осадки прилегающих котловин: наиболее тонкий материал, обогащенный гафнием, сносятся с хребтов в глубоководные районы. В Тихом океане распределение гафния асимметрично: наибольшее содержание — в металлоносных осадках юго-восточной части.

Авторы оценили, какое количество гафния ежегодно накапливается на дне открытых частей океанов: в Тихом — 2,3 тыс. т/год, в Индийском — 0,96 тыс. т/год. Общий объем осадочного материала в открытых частях Тихого океана — 1154 млн т/год, а Индийского — 597 млн т/год, следовательно, среднее содержание гафния в осадках открытых частей Тихого океана составляет 2,0 г/т, Индийского — 1,6 г/т.

Если сравнить ежегодное накопление гафния в открытом океане (граница проходит примерно по глубине 1000—3000 м) с его поступлением туда с суши, оказывается, что открытых районов океана достигает лишь несколько процентов от всего объема: подавляющее количество элемента осаждается в устьях рек, на шельфе, вблизи вулканов и т. д. Средние концентрации взвешенного и растворенного гафния в водах открытых частей Тихого и Индийского океанов — 0,0001 и 0,0002 мкг/л соответственно. Время пребывания гафния в открытых частях океанов, впервые оцененное авторами по захоронению элемента в донных осадках, составляет 6,3 и 2,5 года.

«Доклады АН СССР», 1980, т. 250, № 3, с. 722—726; № 4, с. 953—955.

Минералогия

## Красный янтарь

Янтарь красного цвета встречается довольно редко. До последнего времени считалось, что красные тона объяснены своим происхождением

исключительно окислению. Однако, как показали наши исследования, проведенные в Институте геологии и геохимии горючих ископаемых АН УССР, стойкую густую красную окраску имеют и неизменные янтари, в частности вишнево-красные янтари из окрестностей Львова.

Тамошние породы, содержащие янтарь, сложены песчаниками и песчаными известняками миоценового возраста. Янтарь в них встречается в виде эллипсоидальных, неправильных, прямоугольных или удлиненных кусочков величиной от 0,7 до 3,1 см, весом от 0,76 до 4,45 г. Львовские янтари просвечивают и мягко переливаются различными оттенками красного цвета. Наиболее привлекательны вишнево-красные янтари.

При окислении вишнево-красных янтарей на них образуется корка толщиной до 3 мм. Она более светлая, чем неизменный янтарь, мягкая, имеет чешуйчатое строение и благодаря этому легко удаляется, обнажая неокисленный янтарь вишнево-красного цвета. По своему элементному составу эти янтари подразделяются на две группы. В первую группу входят янтари, в которых содержится 71,82—76,03% углерода, 9,17—10,34% водорода, 13,69—19,01% азота, кислорода и серы; они отличаются менее густым красным цветом. Во второй группе янтарей, имеющих вишнево-красный цвет, содержание углерода и водорода более высокое (С — 84,18%, Н — 10,64%), азота, кислорода и серы — 5,18%. В исследованных янтарях обнаружены также элементы-примеси: Cu — 0,0001—0,0003%, Zn — 0,1%, Si — 0,001%, Mg — 0,001%, Ca — 0,001—0,01%, Fe — 0,001—0,01%, Ba — 0,001—0,005%. Однако эти количества столь незначительны, что вряд ли примеси могут играть роль хромофоров. Скорее, необычная окраска янтаря связана с его элементным составом и своеобразными условиями образования.

Первоисточником красного янтаря (как и других янтарей) служила живица хвойных деревьев, произраставших в окрестностях Львова в среднем миоцене (около 23 млн лет назад). Обычно формирование

янтаря происходит в песчано-глинистых отложениях, богатых глауконитом. Захороненная в них ископаемая смола под воздействием внешней щелочной среды претерпевает ряд химических превращений и в итоге образуется полимер с иным составом и свойствами. Породы, вмещающие красные янтари Львова, в отличие от других янтареносных отложений, сильно глинистые, содержат очень мало глауконита, в них полностью отсутствуют сульфиды железа; образование полимера происходило в условиях весьма слабощелочной среды; в его составе оказалось повышенное содержание углерода и водорода. Все эти особенности и способствовали возникновению красных оттенков янтаря.

**Б. И. Сребродольский,**  
кандидат геолого-минералогических наук

Львов

Экология

## Масштабы антропогенного загрязнения биосферы свинцом

Д. М. Сеттл и К. Паттерсон (Калифорнийский технологический институт, США), применив высокочувствительную методику определения свинца (с использованием разбавления стабильных изотопов и масс-спектрометрии), обнаружили грубые ошибки в существующих данных о фоновых концентрациях свинца в окружающей среде.

По измерениям авторов, проведенных в удаленных районах Запада США, естественная концентрация свинца в озерах и реках составляет всего 0,006—0,05 нг/г, а не 1—10 нг/г, как было принято считать. Существенно уточняются цифры относительного содержания свинца в биомассе живых организмов. В столетней древесине свинца около 3 нг/г; в хвое сосен Северной Америки сейчас со-

держится свинца около 10 нг на 1 г сырого вещества, причем примерно половина этого свинца — результат антропогенного загрязнения. В доисторическое время общее количество свинца в биомассе Северного полушария составляло около 3000 т; сейчас в этом полушарии ежегодно промышленностью и транспортом выделяется около 200 000 т свинца. В Сьерра-Неваде (Калифорния) снег содержит 0,7 нг промышленного свинца в 1 г, дождевая вода — 5 нг/г. По уточненным данным, естественное выделение свинца в атмосферу составляет лишь 1% от антропогенных выбросов.

За последние 3000 лет содержание свинца в воздухе возросло в 200 раз, в почвах сельской местности за последние 50 лет — в 2 раза. В питьевой воде свинца содержится до 15 мкг/л. Истинная концентрация свинца в свежих мышцах тунца в среднем 0,3 нг/г, а не 400 нг/г, как считали ранее; после упаковки тунца в консервные банки, запаянные с применением свинца, его концентрация возрастает в 4000 раз. В костной ткани современных американцев свинца в 500 раз больше, чем в костях перуанцев, живших 1800 лет назад. Всего в организм американца поступает 29 мкг свинца в день (острая токсичность начинает проявляться при дозе 150 мкг/день).

Как воздействует загрязнение свинцом на биохимические процессы в клетке, изучать крайне трудно, поскольку очень сложно поставить контрольный опыт: все реактивы, растворы и сами биологические ткани содержат свинца в 1000 раз больше первоначального природного уровня. Авторы рекомендуют в аналитических работах использовать в качестве контрольных следующие показатели содержания свинца: в океанской воде с глубины более 2000 м — 0,001—0,006 нг/г; в свежих мышцах тунца — 0,2—0,4 нг/г; в столетней древесине — 1—3 нг/г.

Новые данные Сеттла и Паттерсона существенно меняют представления о масштабах антропогенного загрязнения биосферы свинцом.

## Охрана природы

### Мангры в опасности

В прибрежных районах тропиков распространены мангры — заросли мелких деревьев, приспособленных к пограничным условиям между морем и сушей (они занимают зону между урезом воды при приливе и отливе). Известно более 30 видов мангровых деревьев, у которых корни «подставки» растут из ветвей прямо в почву, помогая растению бороться с волнами и приливами. У некоторых видов торчат кверху из грунта дыхательные корни, непосредственно поглощающие воздух (грунт в этих местах беден кислородом). Ширина полосы мангровых зарослей различна: от нескольких метров до огромной зоны поперечником в 75—80 км (как в Бангладеш) или 20—30 км (как в Малайзии). Вся группа мангровых растений насчитывает 12 родов, относящихся к 8 семействам.

Ныне манграм в ряде областей Земли угрожает серьезная опасность. Во многих странах, где они распространены, население за вторую половину XX в. может утроиться или даже учетвериться. Основная часть жителей сосредоточена здесь в прибрежных районах или по берегам судоходных рек. Стволы мангровых деревьев прежде всего используются как топливо; из них делают шпалы и столбы; смола некоторых видов служит сырьем при изготовлении фанеры, а кора содержит танин и красители. В пределах мангров обитает немало рыб и моллюсков, идущих в пищу населению. Наконец, сами заросли служат защитой береговой линии от эрозии и затопления.

В последние годы мангры все чаще истребляются, чтобы на их месте построить дома, дороги, портовые сооружения. Так погибли мангровые леса в заливах Бискайи и Тапа (штат Флорида, США). В Венесуэле на месте вырубленных мангровых лесов строят приморские летние свайные поселки, в Шри Ланке и Мозамби-

ке разводят плантации кокосовых орехов. Велика убыль мангров в Индии: в штате Западный Бенгал с 1959 г. они уничтожены на площади 768 км<sup>2</sup>. В некоторых районах мира, например в Сиамском заливе (Таиланд) и на побережье Сальвадора, вырубленные мангры превратились в солончаковые пустоши. Оставшееся без мангров побережье Бангладеш в последнее десятилетие часто служит «воротами» для катастрофических наводнений.

Большой урон манграм наносит нефтяное загрязнение океана: они растут как раз в таких местах, где нефтепродукты оседают особенно интенсивно. Нефть, покрывающая воздушные корни, препятствует дыханию и буквально душит растения. Чувствительность мангровых деревьев к гербицидам в 5—10 раз выше, чем у лесных растений, между тем в некоторых странах Африки мангры обрабатывают гербицидами уже в течение 25 лет. Самый крупный случай уничтожения мангровых под воздействием гербицидов отмечен во время войны во Вьетнаме, когда вооруженные силы США с помощью химикалиев лишили листья мангровые деревья на площади 100 тыс. га, нанеся этим огромный ущерб всей экологической системе.

Естественные враги мангров — ураганы и тропические циклоны. От них сильно пострадали заросли в Национальном парке южной Флориды и в Австралийском штате Квинсленд. Некоторый ущерб могут наносить им те или иные виды насекомых и крабов. Однако все эти факторы уравновешены природными приспособительными способностями мангров и не идут ни в какое сравнение с антропогенными факторами.

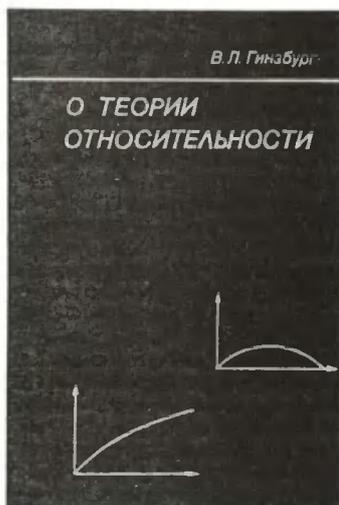
Специалисты призывают отказаться от укоренившегося взгляда на мангровые заросли как на «бесполезно пропадающую» местность и учитывать важность их сохранения в общем аспекте охраны природы на Земле.

## По поводу теории относительности

И. Д. Новиков,

доктор физико-математических наук

Институт космических исследований АН СССР  
Москва



В. Л. Гинзбург. О ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ. Сб. ст. М.: Наука, Гл. ред. физико-математической литературы, 1979, 240 с.

Одним из основных принципов общей теории относительности Эйнштейна является принцип равноправия всех систем координат. Это означает, в част-

ности, что при изучении движения планет можно считать Землю покоящейся в некоторой системе координат, а Солнце и планеты движущимися по сложным траекториям. Так неужели подвиг Коперника был напрасен, и системы Коперника и Птолемея равноправны с точки зрения современной науки? Этот вопрос, породивший 15—20 лет назад бурные дискуссии и иногда до сих пор не получающий правильного ответа в научной, философской и популярной литературе, находится в центре внимания первой статьи, вошедшей в сборник В. Л. Гинзбурга «О теории относительности». Первая статья характерна для всей книги — она не только о наиболее глубоких понятиях теории, но и о физике вообще, и о научной и человеческой этике, и об ученых, и о жизни.

Когда я знакомился со сборником, то невольно ловил себя на мысли, что эта книга совсем не похожа на то, что я ожидал увидеть. Поскольку сборник составлен главным образом из ранее опубликованных материалов, то, казалось, нетрудно представить себе в самых общих чертах его содержание. Я ожидал, что в книгу войдут научные статьи автора, такие, например, как статья о магнитном поле коллапсирующей звезды. (В этой статье содержалось открытие важнейшего свойства черных дыр — излучать при возникновении все поля, которые в принципе могут излучаться.) Но этой статьи и многих других нет в сборнике. Автор включил в него

научно-популярные и публицистические статьи о теории относительности и только те научные статьи, в которых имеется элемент популяризации или публицистики.

На протяжении более шестидесяти лет теория относительности окружена ореолом таинственности и непреходящей новизны для всех, кто интересуется наукой. Книжки, особенно популярные, посвященные теории относительности, мгновенно раскупаются. Несомненно, это объясняется тем, что теория относительности изучает самую простую и обыденную и поэтому самую сложную вещь на свете — пространство и время. Понятия теории относительности трудны для восприятия потому, что ее эффекты проявляются в условиях очень далеких от привычных нам — при сверхбыстрых движениях и сверхсильных полях тяготения. И хотя теперь эти необычные условия становятся вполне ординарными для тех, кто изучает новые объекты, открываемые в астрофизике, или исследует процессы физики элементарных частиц, тем не менее теория относительности продолжает оставаться одним из разделов физики, вызывающих наибольший интерес у любителей науки и в то же время наиболее сложных для популяризации.

Наверное, субъективные трудности здесь связаны еще и с тем, что мы готовы понять пусть очень сложные процессы, но разыгрывающиеся на известной нам «сцене» — в привычном и понятном пространстве и во времени. Но когда оказывается,

что обычной «сцены» вовсе нет, что ее свойства гораздо сложнее самих процессов, зависят от них и определяются ими — это не сразу воспринимается.

К сожалению, интерес к теории относительности довольно часто эксплуатируется поверхностными популяризаторами. Здесь уместна аналогия с эксплуатацией интереса к научно-фантастической литературе, порождающей массу серых книг. Сюжет таких книг тривиален и известен заранее, а основа его — описание какою-нибудь лишенного смысла и фантазии супергравилета. И в научно-популярной литературе по теории относительности часто мы уже заранее знаем канву — будут рассказывать о постоянстве скорости света, затем об относительности одновременности и т. д.

Популярные и публицистические статьи В. Л. Гинзбурга совсем не такие; их следует сравнить в некотором отношении с лучшими произведениями фантастики, скажем с книгами Стругацких, которые пишут не о супергравилетах, а о сути настоящего и будущего — о людях, о характерах, о смысле интеллекта. Аналогия здесь глубже, чем кажется с первого взгляда: для проявления некоторых черт сути человека Стругацкие помещают его в совсем необычную этическую ситуацию; для проявления эффектов теории относительности необходима также совершенно необычная ситуация — скажем, сверхсильное поле тяготения, даже отдаленно неизвестное лабораторной физике или астрономии недавнего прошлого.

Так вот, статьи В. Л. Гинзбурга — и о глубинных понятиях и проблемах теории относительности, подобных той, с которой мы начали рецензию, и о том, почему теория относительности — в центре внимания современной астрофизики, и о том, почему эта теория особенно интенсивно развивается сегодня и столь важна в физике. Это делает сборник, выход которого приурочен к исторической дате — столетию со дня рождения Эйнштейна, очень актуальным в научном отношении. Но его актуальность этим не ограничивается. Светлый

образ Эйнштейна как человека дает автору основание для размышлений по поводу этики в науке и по поводу многих других проблем, связанных с научным творчеством. Не часто, к сожалению, подобные проблемы обсуждаются столь открыто, глубоко и откровенно, как в статьях сборника.

Как уже было сказано, сборник открывается статьей о проблеме «равноправия» систем Коперника и Птолемея. Из всех известных мне анализов этой проблемы в этой статье наиболее ясно дан ответ на вопрос, как в свете теории относительности следует понимать революционные идеи Коперника. Суть проблемы, говорит автор, не в том, что систему отсчета с равным правом можно связать и с Землей и с Солнцем и в системе Земли рассматривать кинематику и динамику движений (это действительно возможно). Суть научной революции Коперника заключается в том, что, во-первых, он опроверг догму об абсолютной неподвижности Земли на основе физических аргументов, показав относительность движения, и, во-вторых, развил саму гелиоцентрическую систему до высокого уровня. В статье прослежено развитие учения о движении, о пространстве и времени от древнейших времен до Эйнштейна. Казалось бы, задача выполнена и, как пишет сам автор, «статью можно было бы на этом и закончить».

Но эту научно-историческую статью заключает параграф, озаглавленный «Современность» — весьма характерный для всего сборника. В нем рассказано, как и почему «общая теория относительности стала в настоящее время, в шестидесятилетнем возрасте, путеводной звездой и рабочим, повседневным инструментом для широкого круга астрономов и физиков» (с. 52).

Следующая статья сборника посвящена космологии. Наука о Вселенной в целом — космология не менее сложна для популяризации, чем теория относительности. Многие вопросы здесь являются пограничными с другими науками, например с философией и математикой. Так, решение вопроса о бес-

конечности или конечности объема физического пространства Вселенной, являющегося чисто естественнонаучной задачей, иногда выводилось из тех или иных философских предпосылок. Это, конечно, неправомерно. Читатель найдет в данной статье (очень популярно написанной) четкие и ясные ответы на общие вопросы космологии. Что же касается идеологических выводов, которые делались из возможных вариантов решения проблемы бесконечности физического пространства, то весьма характерна в этом отношении реплика В. Л. Гинзбурга на одной из научных дискуссий: «Не количеством кубических сантиметров измеряется идеология».

В этом необычном сборнике особенно необычна рецензия на книгу «Принципы относительности». Сборник работ по специальной теории относительности». Рецензия содержит много попутных соображений общего характера. В этой статье есть, например, такие разделы, как «Замечания о приоритете» и «Наука и нравственность». Часто ли мы читаем столь авторитетные высказывания о таких важных вещах? Автор открыто, до конца откровенно пишет, скажем, об этике борьбы за приоритет. Этот деликатный вопрос обычно обходят молчалием, его стыдятся, а иногда не очень искренне смеются (мол «чего стараться, коль жизнь рассудит»). Все, что пишет по этому поводу В. Л. Гинзбург, несомненно имеет воспитательное значение. Здесь нельзя не привести следующее высказывание В. Л. Гинзбурга о человеческом достоинстве: оно «не позволяет людям требовать признания и цитирования, подобно тому как не требуют и даже не просят уважения и любви — их завоевывают другими путями» (с. 136).

Казалось бы — причем здесь теория относительности? Не случайно ли раздумья автора об этике оказались связанными с рецензией на книгу о теории относительности? Мне кажется, что нет — не случайно. В. Л. Гинзбург приводит слова М. Борна об открытии теории относительности: «Я восхищаюсь им как творением

искусства». А в предисловии к сборнику В. Л. Гинзбург говорит, что творения Эйнштейна вызывают «...чувство... родственное тому, которое испытывают, глядя на самые выдающиеся шедевры живописи, скульптуры или архитектуры» (с. 6). Общеизвестно, какой воспитательной силой обладают великие творения искусства. На мой взгляд, столь же огромно воспитательное значение всех великих творений человечества, в том числе и одного из наиболее совершенных — теории относительности.

В связи со сказанным нельзя не добавить, что в статьях сборника разбирается и проблема научного творчества, его стимулы. В статье «Переходное излучение и переходное рассеяние» есть раздел «Об одной неудачной попытке изобрести счетчик частиц (замечание автобиографического характера)», в которой, говоря о счастье научного творчества и открытия истины, В. Л. Гинзбург пишет слова, которые следует запомнить каждому вступающему в науку: «...допущенная ошибка оказалась довольно интересной и ее понимание доставило почти такое же (впрочем, весьма скромное) удовольствие, как и «изобретение» самого счетчика» (с. 200).

В заключение следует подчеркнуть ясный и, а бы сказал, «активный», «атакующий» стиль изложения проблем теории относительности, присущий автору как популяризатору, всегда акцентирующему внимание на «горячих точках» науки.

Наконец, последнее. Без комментариев приведем слова из одной статьи сборника, целиком относящиеся к нему самому: «Многие нужные книги по физике у нас очень трудно купить, так как они издаются совершенно недостаточными тиражами. И дело здесь не в недостатке бумаги, поскольку сейчас речь идет не о массовых изданиях, а о монографиях, сборниках обзорных статей и т. п.» (с. 124). Вот почему мы советуем всем заинтересовавшимся рецензируемой книгой обращаться не в магазин, а в библиотеку или к друзьям.

## Плохая услуга читателям

**Т. Н. Гагина,**  
доктор биологических наук  
Кемеровский университет

**Г. И. Сухомиров,**  
кандидат сельскохозяйственных наук  
Институт экономических исследований ДВНЦ АН СССР

Хабаровск

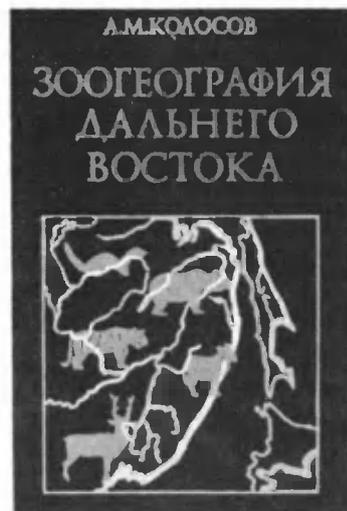


**А. М. Колосов. ФАУНА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА И ЕЕ ОХРАНА В ЗОНЕ БАМА.** М.: Россельхозиздат, 1978, 224 с.

Биологическим ресурсам и охране природы в зоне БАМ уделяется заслуженно большое внимание. Здесь работают десятки научных и проектных институтов, которые объединяют многочисленный коллектив ученых. Проведены две все-союзные научно-практические конференции по комплексному хозяйственному освоению зоны БАМ, работало несколько конференций по более узким вопросам, например по охране природы и рациональному использованию природных ресурсов в зоне строительства БАМ (Хабаровск, 1977), «Человек на БАМ» (Тында, 1978) и ряд других. Опубликованы многочисленные

сборники и монографии, в которых обобщен большой научный материал.

К сожалению, в общем потоке литературы этой тематики нет-нет да и встречаются работы слабые, содержащие неточную информацию. К ним, в частности, относится книга А. М. Колосова «Фауна Дальнего Востока и ее охрана в зоне БАМа». Не имея возможности остановиться на всех промахах автора и недостатках книги, включая ее стилистическую



**А. М. Колосов. ЗООГЕОГРАФИЯ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА.** М.: Мысль, 1980, 256 с.

небрежность и многочисленные опечатки, ограничимся только отдельными замечаниями.

С массой ошибок описаны ареалы животных. К примеру, о волке сообщается: «В глухих таежных лесах волк редок или отсутствует совсем... В Хабаровском крае в настоящий период волк многочислен по рекам Арма, Светловодная, Зева, а также в верховьях рек Катэн, Чукен, Максимовка, Самарга, Коппи, Тумнин, Гур, Горин, Амгунь, Урми и Бурей» (с. 27, 28—29). В действительности, во-первых, на юге Дальнего Востока в тайге волк обычен. Во-вторых, в Хабаровском крае нет рек Арма, Светловодная,

Зева, Максимовка и Самарга. Это реки Приморского края. В-третьих, в верховьях перенаселенных рек волк не многочислен, а редок.

Не лучше положение с освещением в книге других вопросов. Так, автор утверждает: «Поголовье изюбра на Дальнем Востоке резко сократилось» (с. 20). Когда, в 20—30-е годы? Да. Но ведь оно давно восстановлено, а из текста книги можно понять, что численность изюбра сократилась в последние десятилетия. И далее. «Кабан на Дальнем Востоке является основным объектом охоты» (с. 27) или «основным объектом добычи копытных» (с. 191). Подобного никогда не наблюдалось, а тем более об этом странно было бы говорить сейчас, когда численность кабана стала значительно меньше, чем раньше.

Река Хор в книге почему-то значится в Приморском крае (с. 36, 91), на самом же деле она в Хабаровском. Шкурки соболя по югу Дальнего Востока занимают не «почти половину» пушных заготовок (с. 37), а всего 30—35%.

Вызывает недоумение утверждение автора, что численность енотовидной собаки «резко падает, а местами она уже почти совсем истреблена... возникает вопрос о их (енотовидных собак. — Т. Г. и Г. С.) расселении на Дальнем Востоке» (с. 84). Фактически поголовье этого зверя было минимальным в середине 30-х годов, затем оно успешно естественным путем восстановилось. Об искусственном расселении енотовидной собаки на Дальнем Востоке вопрос не ставился даже в те годы, а сейчас, когда ее почти везде относительно много, и речи об этом быть не может.

Неточна информация и по соболю. Автор пишет: «На Дальнем Востоке восстановление запасов соболя шло очень медленно, так как в предшествующий период соболь там был совершенно истреблен» (с. 85). Напротив, после запрета охоты в 1935 г. поголовье соболя почти везде на Дальнем Востоке быстро восстановилось. Значение искусственного расселения соболя очень небольшое.

Странным выглядит призыв к расселению американской

норки в бассейнах Большой Уссури, по Бикину, Хору, Горину, Тумнину и в других местах, где она живет и где ее добывают уже десятилетия. Более того, норка давно заняла все пригодные для ее обитания реки бассейна Амура.

Неверно освещается вопрос и с акклиматизацией ондатры. Как перспективные места для выпуска указываются бассейн реки Усури с притоками Большая Уссурика, Бикин и Хор, а также реки Кур и Урми. В этих местах ондатра обитает уже 20—30 лет, но они мало пригодны для нее и поэтому зверя там немного. Автор легко «решает» вопрос о том, как предотвратить повреждения, которые может нанести ондатра оросительной системе в районе рисосеяния (с. 151), в действительности же это трудная проблема.

В Хабаровском крае преобладают светлохвойные леса, а не темнохвойные и елово-пихтовые, как указано в книге (с. 158).

В Приморском крае в 1972 г. было заготовлено всего около 4 тыс. шкурок соболя, а А. М. Колосов называет цифру 14 тыс. шкурок (с. 177). На Дальнем Востоке никогда не добывалось 7,9 тыс. выдр (с. 178). Максимальные заготовки выдры за последние 40 лет были в 1965 г. — 3,2 тыс. шкурок. Численность выдры достигала: в Хабаровском крае не 6 тыс., как указывается в книге (с. 179), а 9,9 тыс., в Приморском крае не 1,6, а 6,5 тыс. и в Амурской области не 0,3, а 1,2 тыс. особей.

Удэгейцы никогда не занимались оленеводством, а в книге говорится, что они «издавна занимались» им (с. 199). Кем и когда запланирована организация Хабаровского, Хорского и Амурского заповедников, о которых пишет автор (с. 211)? Неясно. Зато не намечаются организации и не создаются, а уже десятилетия существуют Тумнинский, Хингано-Архаринский и Хехцирский заказники.

Автор приводит данные по звероводству, хотя эта проблема лежит за пределами темы, указанной в названии книги. Данные эти часто неверные. «На Дальнем Востоке, — говорится на с. 8, — в условиях

полувольных островных хозяйств разводятся черно-серебристый и красную лисицу, голубых песцов и некоторых других животных» (с. 8). В действительности таких хозяйств давно нет, проведенные опыты были очень неудачными. Сама эта идея отвергнута как наукой, так и практикой, поэтому заслуживает только критического упоминания в научной литературе.

Указывается на акклиматизацию енота-полоскуна и зайца-русака (с. 16), на перспективность последнего (с. 94). В действительности же этих зверей выпускали, но они не прижились, погибли. Государство понесло убытки, и работы прекращены.

Книга А. М. Колосова, выпущенная в Россельхозиздате, не только не дает представления о фауне Дальнего Востока и о ее охране в зоне БАМ, но в значительной степени дезориентирует читателя.

Немногим лучше и вторая книга А. М. Колосова «Зоогеография Дальнего Востока», выпущенная издательством «Мысль». Начать уже с того, что слова «зоогеография» и «Дальний Восток» в заглавии очень неточно раскрывают содержание: Север Дальнего Востока не рассматривается, а из животных рассматриваются только млекопитающие, и те наполовину в плане экологии. Правильным названием книги было бы: «Экология и география млекопитающих южной части советского Дальнего Востока». Уже в самом начале читателя озадачивает оборот: «К эндемичным видам Приморья... относится ряд видов, распространенных в Юго-Восточной Азии» (с. 5). Вот так «эндемы»!

В целом эта книга более всего подходит на реферат опубликованных работ (часто без ссылок) с допущением значительного количества ошибок. Укажем только на некоторые. Ханкайского заповедника, к сожалению, нет до настоящего времени, в книге же он упоминается как организованный (с. 8). Нет Хингано-Архаринского района (с. 33, 34, 89 и др.), а есть Архаринский. Уже около 20 и более лет нет Нижне-Амурского, Тахтинского и Зейско-Учурского районов (с. 34). Тугуро-Чуми-

канский район никогда не был в низовьях Амура (с. 65).

Диких пчел в Уссурийском крае не «очень много» (с. 91), они в настоящее время крайне редки. Бурых медведей на Дальнем Востоке насчитывается не 4—5 тыс., как указывает автор (с. 93); только в Приамурье и Приморье 10—12 тыс. особей. Медведей добывают преимущественно не весной (с. 93), когда охота запрещена, а осенью. Численность соболя в «Приамурском крае» (что за регион?) никогда не достигала 150 тыс. (с. 97) и в сезон 1966/67 г. не уменьшалась до «не менее 15 тыс.» (с. 98). В последние 15 лет численность соболя на Дальнем Востоке достигает 230—250 тыс., а в При-

морье и Приамурье 100—125 тыс. особей. Река Зeya — приток Амура, а не Усури, как пишет автор (с. 103).

Неверно утверждение автора, что выдра менее обычна по рекам Анюй, Мухон, Немту, чем в реках Пильда, Бичи и Лимури (с. 107). Скорее наоборот. И совершенно абсурдно, да еще со ссылкой (Сухомиров, 1967) утверждение А. М. Колосова, будто бы выдра не обитает на реке Зее (с. 108). Она там была и есть, хотя численность небольшая. Неверно утверждение автора о том, что не отмечена конкуренция выдры с акклиматизированными видами (с. 110). С ней активно конкурирует американская норка и частично даже ондатра.

Описывая современное состояние какого-либо зверя, А. М. Колосов (как в первой, так и во второй рецензируемой книге) нередко ссылается на источники прошлых десятилетий. Так, о лосе приводятся данные по Л. М. Баранчеву (1955), хотя с тех пор многое изменилось. Лосей в Амурской области уже не 12 тыс., а 20 тыс. голов; в Хабаровском же крае их не 10, а 26 тыс.

Итак, приходится заключить, что обе книги А. М. Колосова написаны крайне небрежно. Поэтому они не понадобятся специалистам, а неподготовленного читателя нельзя не пожалеть. Он получит во многом искаженное представление о животном мире Дальнего Востока.

## ← НОВЫЕ ВИДЫ

### Физика

**ТВОРЧЕСКОЕ НАСЛЕДИЕ АКАДЕМИКА СЕРГЕЯ ПАВЛОВИЧА КОРОЛЕВА.** Избранные труды и документы. Под общей ред. М. В. Келдыша. Отв. ред.-сост. Г. С. Ветров. М.: Наука, 1980, 592 с., ц. 5 р. 30 к.

Выдающийся ученый и крупнейший конструктор в области ракетно-космической техники академик С. П. Королев (1907 — 1966) вошел в историю как родоначальник практического освоения космоса. Материалы, опубликованные в книге, в значительной мере отражают весь творческий путь ученого. Деятельность С. П. Королева представлена здесь не традиционными академическими статьями, а главным образом научно-техническими документами, относящимися к разработке ракет и космических аппаратов, планами-разработками методов их проектирования и использования, чертежами, впервые представляющими все основные ракеты, в том числе стратегического назначения, созданные под его непосредственным руководством, отчетами о различных испытаниях. Публикация фрагментов записных книжек

С. П. Королева знакомит читателя с творческой лабораторией ученого.

В книге опубликованы статьи С. П. Королева, которые печатались в «Правде» под псевдонимом «профессор К. Сергеев», его выступления, посвященные жизни и деятельности К. Э. Циолковского, автобиография. Своеобразным путеводителем по книге служит большая вступительная статья, написанная академиком В. П. Мишиным и членом-корреспондентом АН СССР Б. В. Раушенбахом.

### Физика

**Ю. В. Сивинцев. И. В. КУРЧАТОВ И ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА.** М.: Атомиздат, 1980, 80, с., ц. 15 к.

Советская ядерная энергетика — детище Игоря Васильевича Курчатова. Невозможно рассказывать о ее становлении и развитии, не обращаясь к жизни и идеям Курчатова — «главного атомщика» нашей страны. Но при этом, как подчеркивает автор книги, более десяти лет работавший рядом с Курчатовым, книга не является

биографией выдающегося советского физика, а представляет собой «рассказ о рождении и успехах ядерной энергетики». Читатель узнает много интересного об устройстве и работе современных атомных электростанций, принципах защиты персонала и окружающей среды от вредного воздействия ионизирующих излучений, проблеме захоронения радиоактивных отходов, а также о путях развития ядерной энергетики в нашей стране и за рубежом.

### Математика

**А. Реньи. ТРИЛОГИЯ О МАТЕМАТИКЕ.** Диалоги о математике. Письма о вероятности. Дневник (записки студента по теории информации). Пер. с венг. Под ред. и с предисл. Б. В. Гнеденко. М.: «Мир», 1980, 376 с., ц. 95 к.

Сборник составлен из научно-популярных произведений известного венгерского математика Альфреда Реньи (1921—1970). Две первые книги трилогии уже знакомы советскому читателю (М., 1969;

М., 1970)'. Третья часть составляют «Дневник (записки студента по теории информации)» и несколько популярных статей. Тематика и форма этих произведений различна, но все они в равной степени отмечены печатью яркого литературного таланта.

«Диалоги» посвящены вопросам методологии математики, «Письма» — первым шагам развития науки о случайном, «Дневник» — современному этапу развития математики, основным понятиям теории информации. В соответствии с «возрастом» излагаемой проблемы изменяется и уровень требований, предъявляемых к математической подготовленности читателя. Если для понимания первой книги практически не требуется никаких математических познаний, то для знакомства с третьей книгой, где используется математическая символика, уже необходим некоторый навык в чтении формул. Каждое из произведений А. Реньи посвящено не частным задачам той или иной области математики, а ее принципиальным вопросам, проблемам большого методологического значения. Этим и объясняется большой успех, который сопутствовал выходу книг А. Реньи не только в Венгрии, но и за ее пределами.

#### Биология

**РЕКОМБИНАНТНЫЕ МОЛЕКУЛЫ: ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ НАУКИ И ПРАКТИКИ.** Пер. с англ. А. А. Баева и С. И. Алиханяна. М.: Мир, 1980, 619 с., ц. 3 р. 80 к.

Молекулярная биология достигла больших успехов, и среди них особое место занимает генная инженерия. Биологами разработаны методы, которые позволяют манипулировать генетическим материалом и получать необходимые сочетания

наследственно закрепленных свойств.

Этому новому и перспективному направлению и посвящена коллективная монография «Рекомбинантные молекулы». На ее страницах выступают ведущие исследователи, многим из которых принадлежат пионерские работы в этой области, такие как Г. Бойер, С. Козн, Р. Кертисс, Ф. Янг, Г. Гудман, С. Эрлих, Дж. Ледерберг, Д. Натанс, К. Муррей, Дж. Карбол, Д. Хеллински. Ценность книги в том, что она охватывает практически все основные проблемы генной инженерии: принципы технологии, основы конструирования плазмидных и фаговых векторов, методы создания гибридных (рекомбинантных) молекул, состоящих из фрагментов прокариотической и эукариотической ДНК, применение таких специальных ферментов, как рестриктаза и лигаза (разрезающие молекулу НК и сшивающие ее фрагменты), способы селекции гибридных молекул. В монографии получила отражение дискуссионность целого ряда проблем. Подчеркнута возможность применения методов генной инженерии в решении таких важных практических вопросов, как создание высокопродуктивных штаммов бактерий, повышение урожайности и лечения наследственных болезней. Книга представляет несомненный интерес для самого широкого круга биологов.

#### Биология

**М. Лэмб. БИОЛОГИЯ СТАРЕНИЯ.** Пер. с англ. Л. К. Обуховой. Под ред. Н. М. Эмануэля. М.: «Мир», 1980, 206 с., ц. 90 к.

Книга, принадлежащая перу английского биолога Мэрион Лэмб, написана как курс лекций по геронтологии, однако ее прочтут не только студенты и специалисты.

Что такое старение живых организмов, каковы его признаки, какова его скорость — с обсуждения этих вопросов начинается книга. Затем автор сравнивает продолжительность жизни разных животных и отмечает некото-

рые воздействия (например, температуры, диеты, радиации), позволяющие изменить скорость старения и длительность жизни. В заключительных главах анализируются молекулярные гипотезы старения: свободнорадикальная теория, теория «катастрофы ошибок», теория «ограничения кодонов» и др.

«Несмотря на небольшой объем книги, — пишет Н. М. Эмануэль, — в ней удачно изложено все самое главное, что достигнуто в результате теоретических и экспериментальных исследований». Говоря, что стиль монографии М. Лэмб созвучен стилю советских работ в этой области, Н. М. Эмануэль подчеркивает: «М. Лэмб склоняется к выводу, что на данном этапе развития геронтологии геронтологи должны стремиться скорее к улучшению здоровья человека в старости, к уменьшению возрастных изменений, нежели к существенному увеличению продолжительности жизни».

#### Биология

**Д. В. Наумов. ЗООЛОГИЧЕСКИЙ МУЗЕЙ АН СССР.** Краткая история и описание экспозиции. Л.: Наука, 1980, 160 с., ц. 80 к.

Зоологический музей Академии наук СССР — один из крупнейших естественноисторических музеев мира. В его экспозиции свыше 40 000 видов животных, в том числе весьма редких. Некоторые экспонаты дают представление о вымерших животных, например скелет стеллеровой коровы, чучело сумчатого волка, странствующего голубя. Об истории музея, начало которому было положено Петром I в 1698 г., когда он приобрел в Голландии большую коллекцию засушенных насекомых, чучел птиц, рыб и других животных, рассказывается в первом разделе книги. Основную же часть книги составляет описание наиболее интересных экспонатов музея, частично представленных на фотографиях. Параллельно читатель узнает о жизни и работе сотрудников Зоологического музея и Зоологического института АН СССР.

<sup>1</sup> См. рецензию: Купцов В. И., Пирожков В. В., Шейкин В. А. Мыслители прошлого о математике XX века. — «Природа», 1972, № 2.

Зоологический музей — не простое собрание редкостей. Его экспозиция, постоянно пополняющаяся и обновляющаяся, отражает современное состояние зоологии. Книга о музее, предназначенная прежде всего его посетителям, может представлять самостоятельный интерес для широких кругов читателей.

#### История науки

**А. А. Формозов.** АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ ФОРМОЗОВ (1899—1973). М.: Наука, Науч.-биогр. сер., 1980, 152 с., ц. 50 к.

Деятельности Александра Николаевича Формозова, одного из основоположников отечественной экологии и зоогеографии, профессора биологического факультета МГУ, заведующего отделом биогеографии Института географии АН СССР, посвящено немало публикаций, написанных его коллегами и учениками. Они содержат характеристики Формозова-натуралиста. Новая научная биография ученого написана его сыном, решившим, как он пишет в своем предисловии, «взглянуть на отца глазами историка».

Биография составлена на основе личного архива А. Н. Формозова, включающего, в частности, его дневники 1911—1972 гг. и письма.

А. Н. Формозов был отличным художником-анималистом. В книге помещены его штриховые рисунки.

#### История науки

**В. А. Фролов.** ОПЕРЕДИВШИЙ ВРЕМЯ. М.: «Советская Россия», 1980, 270 с., ц. 90 к.

Один из трех величайших микробиологов, или, по определению Поля де Кюри, «охотников за микробами», И. И. Мечников около ста лет назад создал клеточную теорию иммунитета. Это наиболее крупный, но не единственный его вклад в науку. Автор отмечает значение работ И. И. Мечникова по беспозвоночным, рассказывает об упорной борьбе

с сибирской язвой, создании теории воспаления, попытке разобраться в причинах старения, о размышлениях над демографическими вопросами и философских исканиях, отраженных в «Этюдах оптимизма».

Определяя свои цели, автор говорит, что он «попытался в настоящей книге не только дать жизнеописание И. И. Мечникова, но и показать, как складывалась эта тонкая неуравновешенная натура, предположить, почему ученый поступал так, а не иначе, представить особенности его научного поиска».

Читатель узнает о той борьбе, которую пришлось вести Мечникову за утверждение теории фагоцитоза, познакомится со многими учеными — Пастером, Кохом, Сеченовым и общественно-политическими деятелями — Бакуниным, Герценом и другими, с которыми Мечникову довелось встречаться и работать.

#### История науки. Этнография

**Г. М. Бонгард-Левин.** ДРЕВНЕИНДИЙСКАЯ ЦИВИЛИЗАЦИЯ. Философия, наука, религия. М.: Наука, Главная редакция восточной литературы, 1980, 333 с., ц. 1 р. 40 к.

В течение двух последних столетий духовная культура древней Индии нередко воспринималась как загадочное и почти необъяснимое явление. Современная индология ищет новые пути осмысления индийских религиозно-философских школ и систем в контексте общечеловеческой истории. Книга Г. М. Бонгард-Левина является попыткой дать цельную картину развития общественного сознания, передать духовный климат далеких эпох, помочь пониманию процессов, происходящих в современной Индии.

Автор прослеживает истоки местных этно-культурных субстратов, рассматривает учения упанишад, шаманских доктрин, легенды и историю джайнизма, раннего буддизма, индуизма (вишнуизма и шиваизма). Особое внимание уделяется развитию научных дисциплин, ибо, по свидетельству самих древних

мыслителей, индийцы «преуспели в астрономии, арифметике... и в медицине, овладели тайнами врачебного искусства. Они высекают скульптуры и изображения, имеется у них богатое буквами письмо... У индийцев богатая поэзия, развитое ораторское искусство... философия, этика... Наука астрономия происходит от них, и прочие люди ее заимствовали... От них пошла наука мыслить» (с. 208).

Книга предназначена этнографам, историкам и всем интересующимся проблемами развития мировой культуры.

#### Философия естествознания

**В. Г. Борзенков.** ПРИНЦИПЫ ДЕТЕРМИНИЗМА И СОВРЕМЕННАЯ БИОЛОГИЯ (методологические аспекты). М.: Издательство Московского университета, 1980, 196 с., ц. 1 р. 10 к.

В современной биологии благодаря усилиям ученых разных специальностей (зоологов, цитологов, генетиков, микробиологов и т. д.) удалось сделать решительный шаг вперед в познании фундаментальных структур и процессов живой природы на самых разных уровнях ее организации. На первый план сейчас выступают вопросы теории.

Используя при анализе биологических знаний системный подход, автор рассматривает понятие детерминизма (принцип причинности) как один из ведущих принципов этой науки, как учение о материальных, закономерных связях явлений природы, общества и человеческого сознания. В круг размышлений автора входит соотношение микро- и макроэволюции в современной теоретической биологии, основные архетипы эволюционного мышления (тихогенез, телеогенез и номогенез, опирающиеся соответственно на понятия «случай», «цель» и «закон»), их исторические модификации. Законы эволюции при этом рассматриваются как выражение единства причинной обусловленности и системной организованности природы.

Книга рассчитана на всех интересующихся философскими проблемами естествознания и историей биологии.

## Выставка художников-анималистов

Л. М. Шитикова

Москва

В «Законе об охране и использовании животного мира», принятом Верховным Советом СССР, говорится: «Животный мир является одним из компонентов природной среды, важной составной частью природных богатств нашей родины». Этими словами встречала посетителей выставка «Анималисты России», которая была организована Московским отделением Союза художников РСФСР и открыта в июле — августе в Выставочном зале Союза художников РСФСР.

Это первая выставка художников, на которой было представлено более 600 работ разных жанров (скульптура, графика, живопись, декоративное и прикладное искусство), связанных одной темой — изображением животных, их характеров, повадок, среды обитания. Авторы работ — художники-профессионалы (исключение составляют В. М. и Ю. М. Смирини — биологи, сотрудники МГУ<sup>1</sup>).

Не берусь судить о художественной ценности произведений (об этом, наверное, будут публикации в других изданиях), остановлюсь лишь на содержании работ и их эмоциональном, а следовательно и воспитательном воздействии.

Все произведения, представленные на выставке, проникнуты чувством неисчерпаемой любви к жизни, к природе, к животным. Эта любовь и доброта, которые движут рукой художника-анималиста, учат бережному отношению ко всему живому.

Вполне естественно, что на выставке было особенно мно-



в зале выставки. Скульптурная композиция «Игра морских котиков» (бронза, А. М. Белашов)

го произведения, запечатлевших виды животных, которые стали редкими и потому их будущее вызывает тревогу и беспокойство. Вот деревянные скульптуры беркута (Б. Я. Воробьева), моржа (Ю. М. Смирин), зубра (П. А. Баландина). Вот камчатский краб, искусно выполненный из ковanej меди (С. А. Рябченков), гренландский тюлень и геккон из кости (В. М. Смирин), леопард и тигр (майолика, И. В. Барковская), лошади Пржевальского (графика, Г. Е. Никольский), фламинго (графика, Б. А. Дувидов), горалы (графика, В. М. Смирин), скопа (графика, В. А. Горбатов) и многие, многие другие виды.

Когда речь идет о видах, которых на Земле осталось мало, а встретить, увидеть и тем более запечатлеть — большая удача, то воспроизведение их

приобретает и научную ценность. Ведь только по рисункам мы можем представить себе, какими, допустим, были тарпаны (рисунок В. Н. Ляхова), во множестве жившие в степях и лесах Европейской части России и истребленные в конце XVIII — начале XIX в.

Тема заповедного леса нашла выражение в цветной литографии Т. Д. Васильева. Это настоящие дебри, полные таинственной прелести, где лесные обитатели чувствуют себя спокойно. Приокско-Террасный заповедник и его гордость — спасенные от вымирания зубры — воплощены в двух гравюрах П. А. Панченко.

Тема материнства особенно волнует художников. Из этой серии сильное впечатление производят гравюры В. А. Фролова: «Волчица», «Выдра», «Олениха». Запоминается «Семья лис» — мать с прильнувшими к ней детенышами (бронза, А. С. Цвет-

<sup>1</sup> Наши читатели знакомы с рисунками этих авторов к статьям «Джейран», «Летяга», «Моржи на острове Арамкачечен». — Природа, 1976, № 2; 1977, № 5; 1980, № 5.

ков). Это трогательная, нежная забота о потомстве; беспомощность, незащищенность детства.

Драматическая ситуация: самка своим телом преграждает хищнику путь к гнезду с птенцами. Птица готова пожертвовать собой ради спасения своих детей.

Литография И. И. Ризнич так и называется «Под защитой сильного». Грациозен, пластичен «Олененок» (мрамор, Т. А. Гагарина).

Художники - анималисты должны хорошо знать животных, понимать их психологию, поведение, настроение. Изучение вида, десятки набросков с натуры дают возможность создать образ, который сможет больше рассказать о животном (его характере, повадках и т. д.), чем фотография. В этом, безусловно, большое научное значение произведений художников-анималистов. Удивительны «портреты» матерого волка, волчицы, перьярка (Д. М. Горлов). Эти портреты тонко и психологично выражают разные характеры волков. Запоминается барс, выслеживающий добычу (дерево, А. С. Цветков). Выразительно изображены тетеревиный ток (живопись, Б. М. Головин) и токующие глухари (графика, П. Я. Караченцов). «Первый вылет» (фарфор, А. Г. Сотников): один из родителей кормит только что вылетевшего из скворечника птенца, второй птенец выглядывает из скворечника, дожидаясь своей очереди. Скульптуры мамонтенка (бронза и фарфор, А. М. Белашов), думается, были откликом на сообщение о находке на ручье Киргилля хорошо сохранившегося в течение многих веков детеныша вымершего, но некогда типичного вида млекопитающих, населявшего территорию нашей страны.

Интересны декоративно-прикладные работы: фонтан «Игра морских котиков» (бронза, А. М. Белашов), четырехугольная керамическая вазочка с изображенными по углам головами козлов (О. В. Малышева), сервизы «Заповедный лес», «Утро» (Т. С. Линчевская). Привлекателен кулон (автор С. В. Цигаль) — голова быка была с прирастившимся между рогов петухом (бронза и малахит), тонки, изящны изделия из кости — браслет «Бегущие звери» (В. П. Куров), бусы «Рыбка» (В. М. Прозоров).

Говоря о выставке, уместно вспомнить слова В. А. Ватагина: «Много необходимого получает и отнимает у животного человек, но он редко помнит и сознает, что животное не только кусок мяса или физическая сила, что в его руках живое существо, покорно переносящее насилие, глубоко чувствующее страдание и вместе с тем трепетно принимающее всякое доброе отношение к нему и отвечающее человеку чувством привязанности, глубокой преданности, чувством любви. Те чувства доверия и влечения к человеку, которые проявляются у молодых животных или у животных, впервые встретивших человека, в странах, куда еще не ступала его нога, очень скоро исчезают, заменяются чувством страха и ужаса перед ним... Никакой зверь не станет мучить или понапрасну убивать свою жертву. Какую, однако, истребительную, жестокую роль играет человек по отношению к животным! Какой огромный кровавый счет

могла бы предъявить человеку природа за множество хищнически истребленных прекрасных видов животных, созданных ею»<sup>2</sup>.

Необходимость охранять природу и животных — основная идея выставки. Поэтому особенно острое чувство вызывает раненый олененок («Сохраним природу»), бронза, Г. Н. Попандупуло). Скульптурные композиции А. М. Дубровенской, изображающие простреленное яйцо («Преращенная жизнь», керамика) и только что появившийся из зерна в руке человека первый росток («К жизни», керамика) могли бы быть символом выставки: в руках человека, в наших с вами руках многое из того, что определяет жизнь и смерть на Земле.

Последние залы выставки... И вновь художники предостерегают нас об опасности, нависшей над животным миром. Серия литографий Н. С. Попова так и называется: «Береги этих птиц» («Кукушка», «Полевой лунь», «Домовый сыч»). Медали А. Б. Шабанова «Быть или не быть» и серия медалей М. Г. Островского с изображением рыб, копытных, птиц под девизом «Охрана природы — дело всенародное» и большая медаль с изображением «Красной Книги»: на раскрытой странице — слова, которые предостерегают: «Человеческие проекты, не считающиеся с великими законами природы, приносят только бедствия» (К. Маркс).

Когда читаешь отзывы посетителей, то понимаешь, что первая выставка художников-анималистов выполнила свое главное назначение. Наиболее точно это выражено в одной записи: «Эта выставка — гимн природе».

<sup>2</sup> Ватагин В. А. Записки анималиста. М., 1980, с. 97.

Художник П. Г. АБЕЛИН  
Художественные редакторы:  
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Корректоры:  
Т. М. АФОНИНА, Т. Д. МИРЛИС

Адрес редакции:  
Москва, ГСП-1,  
Мароноовский пер., 26  
Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 29.10.80

Подписано к печати 10.12.80  
Т-19337

Формат бумаги 70×100 1/16.  
Офсет

Усл.-печ. л. 10,4 Уч.-изд. л. 14,5

Бум. л. 4  
Тираж 85 000 экз. Зак. 2765

Чеховский полиграфический комбинат  
Союзполиграфпрома  
Государственного комитета СССР  
по делам издательств,  
полиграфии и книжной торговли.  
г. Чехов, Московской области.



Рыба-шар (керамика, Л. А. Галкин).  
Сохраним природу (бронза,  
Г. Н. Попандопуло).  
Лоси (гилс, Б. А. Черствый).  
Бакпан (фарфор, А. Г. Сотников).  
Фото В. Н. Машатина.



Цена 50 коп.  
Индекс 70707

