

ISSN 0032-874X

# ПРИРОДА

11 '90



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ  
Главный редактор  
академик  
Н. Г. БАСОВ

Кандидат физико-математических наук  
А. И. АНТИПОВ

Доктор физико-математических наук  
Е. В. АРТЮШКОВ

Член-корреспондент АН СССР  
Р. Г. БУТЕНКО

Доктор географических наук  
А. А. ВЕЛИЧКО

Академик  
В. А. ГОВЫРИН

Заместитель главного редактора  
Ю. Н. ЕЛДЫШЕВ

Член-корреспондент АН СССР  
Г. А. ЗАВАРЗИН

Академик  
В. Т. ИВАНОВ

Доктор физико-математических наук  
Н. П. КАЛАШНИКОВ

Доктор физико-математических наук  
С. П. КАПИЦА

Доктор физико-математических наук  
И. Ю. КОБЗАРЕВ

Кандидат физико-математических наук  
А. А. КОМАР

Академик  
Н. К. КОЧЕТКОВ

Доктор философских наук  
Н. В. МАРКОВ

Доктор исторических наук  
П. И. ПУЧКОВ

Заместитель главного редактора  
академик  
Ю. М. ПУЩАРОВСКИЙ

Доктор философских наук  
Ю. В. САЧКОВ

Заместитель главного редактора  
доктор биологических наук  
А. К. СКВОРЦОВ

Академик АН УССР  
А. А. СОЗИНОВ

Академик  
В. Е. СОКОЛОВ

Доктор геолого-минералогических наук  
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора  
кандидат технических наук  
А. С. ФЕДОРОВ

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

Академик  
В. Е. ХАИН

Доктор физико-математических наук  
А. М. ЧЕРЕПАШУК

Доктор физико-математических наук  
В. А. ЧУЯНОВ

# ПРИРОДА

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ  
ПОПУЛЯРНЫЙ  
ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
АКАДЕМИИ НАУК СССР

Издается с января 1912 года



НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Вулканы Камчатки: Авачинский и Карякский (на заднем плане). См. в номере: Кирпичников В. С. Судьба Камчатки в наших руках.

Фото В. Е. Гиппенрейтора.

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Орден Золотого Руна с бриллиантами и медово-желтыми топазами (XVIII в.) См. в номере: Смертенко В. М. Топаз.



— символ межправительственной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (The Man and the Biosphere). Им обозначены материалы, которые «Природа» публикует, участвуя в этой программе.



© Издательство «Наука»  
журнал «Природа» 1990

**56** Луканин В. В., Наумов А. Д., Федяков В. В.  
ПОСЕЛЕНИЯ МИДИЙ: ПОСТОЯННОЕ НЕПОСТОЯНСТВО

Неизменные, как считалось, поселения съедобной мидии, оказывается, циклически меняются сами и вызывают такую же смену биоценозов.

**63** Калачев Б. П.  
СОВЕТСКАЯ ПСИХИАТРИЯ ВОЗВРАЩАЕТСЯ В МИРОВОЕ СООБЩЕСТВО

**64** ЧЕТЫРЕ ГОДА ПОСЛЕ ВЗРЫВА

Много сказано и написано о вине науки за катастрофу на Чернобыльской АЭС, куда меньше — о ее роли в ликвидации последствий аварии. Уже более четырех лет работают ученые у разрушенного блока, и сформировать непредвзятое отношение к проблеме «наука и Чернобыль» можно, лишь зная о результатах этой работы.

ЛИКВИДАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ: СЛУХИ И ФАКТЫ (интервью с С. Т. Беллевым) (65)

Калугин А. К. СЕГОДНЯШНЕЕ ПОНИМАНИЕ АВАРИИ (70)

Арутюнян Р. В. «КИТАЙСКИЙ СИНДРОМ» (77)

Боровой А. А. ВНУТРИ И ВНЕ САРКОФАГА (83)

**91** Глазовский Н. Ф.  
АРАЛЬСКИЙ КРИЗИС (окончание)

НАСЛЕДИЕ

**99** Фриш С. Э.  
ОТРЫВКИ ИЗ ВОСПОМИНАНИЙ (продолжение)

**110** НОВОСТИ НАУКИ

**122** КОРОТКО

**123** РЕЦЕНЗИИ

**125** НОВЫЕ КНИГИ

ИНФОРМАЦИЯ (26, 55)

ВСТРЕЧИ С ЗАБЫТЫМ

**126** Волков В. П.  
«У НИХ БЫЛ КРУЖОК МИСТИЧЕСКИХ ПОЭТОВ...»

**В НОМЕРЕ**

**3** Кутырев В. А.  
УТОПИЧЕСКОЕ И РЕАЛЬНОЕ В УЧЕНИИ О НООСФЕРЕ

В нашу эпоху экологических катастроф особенно четко выявляются скрытые противоречия учения о ноосфере, основанного на безграничной вере в человеческий разум, способный обеспечить гармонию природы и общества. Как и другие мировоззренческие идеи, оно во многом утолично.

**11** И СТАЛА ЖИЗНЬ

Из чего и как возникло живое — вот вопрос, который привлекает многих исследователей, ибо заманчиво представить мир как результат единого процесса развития природы. В подборке рассматриваются три механизма молекулярных преобразований, приведших к появлению первой клетки.

Каценберг М. М. ОТ МОЛЕКУЛ К КЛЕТКЕ (14)

Багоцкий С. В. ОТ МОЛЕКУЛЯРНОГО ЛАМАРКИЗМА К ДАРВИНИЗМУ (17)

Шноль С. Э. ХВАТАЕТ ЛИ ВРЕМЕНИ ДЛЯ ДАРВИНОВСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ? (23)

**27** Дядькин Ю. Д.  
ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ

Вклад тепла Земли в современную энергетику явно не соответствует масштабам геотермальных ресурсов и их экологичности. Как же преодолеть это несоответствие?

**39** Кирпичников В. С.  
СУДЬБА КАМЧАТКИ В НАШИХ РУКАХ

Спасение уникальной природы Камчатки — в создании на ней сети заказников, заповедников, национальных парков, а также в научно обоснованном подходе к развитию различных отраслей хозяйственной деятельности с приоритетом рыболовства и рыбоводства.

**47** Шлезингер А. Е.  
ПОВЕРХНОСТЬ ФУНДАМЕНТА АРКТИКИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ

**48** Сурдин В. Г.  
ЗВЕЗДНЫЕ ГАЛО У РАССЕЯННЫХ СКОПЛЕНИЙ

КАМЕНЬ МЕСЯЦА

**50** Смертенко В. М.  
ТОПАЗ

**56** Lukanin V. V., Naumov A. D., Fedya-  
kov V. V.  
SNAIL POPULATIONS: STABLE INSTA-  
BILITY

*What was regarded as stable populations of snails turned out to be cyclically changing entities that cause similar changes in biocenoses.*

**63** Kalachev B. P.  
SOVIET PSYCHIATRY RETURNS IN THE  
WORLD COMMUNITY

**64** FOUR YEARS AFTER THE DISASTER  
*Many angry words have been written and said about science and its responsibility for the Chernobyl disaster. Much less has been said about scientific contribution into remedying its effects. While it's already four years that Soviet scientists carry out hard and effective work at the destroyed block of the Chernobyl power plant. Different aspects and results of these activities are described in this set of articles.*

ERADICATING THE RESULTS OF THE  
CHERNOBYL DISASTER: RUMOURS AND  
FACTS (interview with academician  
S. T. BELYAEV) (65)

Kalugin A. K. THE DISASTER AS SEEN  
TODAY (70)

Arutyunyan R. V. "THE CHINA SYNDRO-  
ME" (77)

Borovoi A. A. INSIDE AND OUTSIDE  
THE SARCOPHAGUS (83)

**91** Glazovsky N. F.  
THE ARAL CRISIS (conclusion)

**99** HERITAGE  
Frisch S. E.  
EXCERPTS FROM "REMINISCENCES"  
(continuation)

**110** SCIENCE NEWS

**122** NEWS IN BRIEF

**123** BOOK REVIEWS

**125** NEW BOOKS

INFORMATION (25, 55)

MEETING THE FORGOTTEN PAST

**126** Volkov V. P.  
"THEIR'S WAS THE CIRCLE OF POETS  
OF MYSTICS..."

CONTENTS

**3** Kuttyrev V. A.  
UTOPIAN AND PRACTICABLE IN THE  
TEACHING ON THE NOOSPHERE

*In the age of ecological catastrophes we are living through the latent contradictions of the teaching on the noosphere has come to light. Like many other philosophical ideas it is largely utopian being based on an ultimate faith in human reason that is capable of ensuring the harmonious coexistence of nature and human society.*

**11** AND SO LIFE APPEARED

*The question of the origins of the living matter has always fascinated people of science. It is really a daring task to represent the world around us as an outcome of the single evolutionary process. The articles presented here discuss three mechanisms of molecular transformations that made the first cell possible to appear.*

Katsenberg M. M. FROM A MOLECULE  
TO A CELL (11)

Bagotsky S. V. FROM MOLECULAR LA-  
MARCIANISM TO DARWINISM (17)

Shnol S. E. IS THERE ENOUGH TIME  
TO COMPLETE THE DARWINIAN EVO-  
LUTION (23)

**27** Dyad'kin Yu. D.  
GEOTHERMAL POWER

*So far the Earth's heat resources have not been adequately used. Meanwhile their scopes are enormous and ecological characteristics perfect. What should be done to remedy the situation?*

**39** Kirpichnikov V. S. WE ARE RESPON-  
SIBLE FOR THE FUTURE OF KAM-  
CHATKA

*State-run reserves, national parks and scientifically substantiated approach to the economic activities on the Kamchatka Peninsula with an emphasis on fishing and fisheries is the way to protect the region's unique nature.*

**47** Shlezinger A. E.  
THE SURFACE OF THE ARCTIC BASE-  
MENT AND THE NEIGHBOURING RE-  
GIONS

**48** Surdin V. G.  
STAR HALO OF DIFFUSE CLUSTERS

**50** THE GEM OF THE MONTH  
Smertenko V. M.  
TOPAZ

# В. А. Кутырев Утопическое и реальное в учении о ноосфере

Не лучше было бы людям,  
если бы исполнялось все,  
что они пожелают.

Гераклит



Владимир Александрович Кутырев, доктор философских наук, профессор Горьковской высшей партийной школы. Круг научных интересов — социальное познание, философские проблемы экологии. В «Природе» опубликовал статьи: *Универсальный эволюционизм или коэволюция?* (1988, № 8); *Человек в «постчеловеческом» мире: проблема выживания* (1989, № 5).

**О**СНОВОПОЛОЖНИКИ учения о ноосфере (Э. Леруа, П. Тейяр де Шарден, В. И. Вернадский) верили, что человеческий интеллект, превращаясь в планетарную геологическую силу, приведет к упорядочению природной и социальной деятельности, к более совершенным формам бытия. Мы живем во время, когда деятельность человечества преодолела границы биологической реальности и стала определяться достигнутой мощью разума. Однако в конце XX в. люди заговорили о выживании. Как же теперь относиться к сложившимся еще в начале века взглядам на ноосферу? Не следует ли пересмотреть их ввиду явного несоответствия надежд и результатов? Ведь правильный диагноз — залог успешного лечения или, по крайней мере, приспособления к болезни.

## НООСФЕРА КАК УТОПИЯ

Переход биосферы в ноосферу считался несомненным благом, несущим человечеству разрешение всех проблем. Вернадский и даже Тейяр де Шарден (последний, правда, неохотно) связывали его с социалистической организацией жизни, расширяя задачу преодоления стихийности природы до преодоления стихийности развития общества. В космических вариантах (например, у К. Э. Циолковского) переход к ноосфере предполагал полное устранение зла, всеобщую гармонию.

Тревожные экологические тенденции современности заставляют критически отне-

стись к этим стереотипам. Думается, что учение о ноосфере с самого начала несло в себе элементы утопии, что в нем переплелись ценностные и бытийные подходы, что ценностные характеристики ноогенеза были однозначно положительными, а это противоречит диалектике жизни. Надо различать трактовку ноосферы как утопии и ее реальное состояние. Одно не должно заслонять другое.

В мировоззренческих теориях элементы утопии неистребимы. Утопия — система идей, выходящих за рамки наличного бытия и связанных, помимо знания, верой и надеждой. Утопии — «бывшие» мифы, мифы разума, пришедшие на смену мифам чувственного воображения. В развитии общества идеалы, мифы, утопии играют двоякую роль: бывают полезными, функциональными, вдохновляют и направляют людей, а могут дезориентировать, вести к упадку — притом одна и та же утопия на разных этапах может играть разную роль. И, как мы теперь понимаем, иногда надо вовремя от нее отказаться, скорректировать или сменить на другую. Об опасной двойственности идеалов, наиболее ярко обнаружившейся в XX в., проницательно писал Н. А. Бердяев: «Утопии выглядят гораздо более осуществимыми, чем в это верили прежде. И ныне перед нами стоит вопрос, терзающий нас совсем иначе; как избежать их окончательного осуществления»<sup>1</sup>. Это высказывание относится прежде всего к социальным утопиям, но не только. Социальные утопии обычно опираются на предположение о возможности разумного устройства жизни во всей глубине, когда совершенному устройству общества соответствует упорядоченная природа и совершенный человек. Социальные утопии — ядро более глобальных, направленных на переустройство всего мира.

Особенностью утопий, как и идей вообще, является то, что по мере приближения к воплощению в них обнаруживаются дотоле скрытые противоречия. Возникает необходимость преодоления данной утопии, прежде всего через разграничение желаемого и сущего в ней, ценностных и онтологических представлений о реальности. Это относится и к учению о ноосфере в той его части, где оно утопично. Отсюда же следует, что на этапе становления трудно ожидать критического отношения к отражающему происходящие процессы учению — оно выступает как способ решения существующих

в тот период острых проблем, но когда учение приобретает черты реальности, мы обязаны его переосмыслить.

Сейчас ноосфера в стадии интенсивного воплощения и по масштабам соперничает с «чистой» биосферой. Появилась угроза существованию природы как самостоятельной целостности. Между тем отношение к ноосфере продолжает быть преимущественно восторженным, будто ее развитие никак не связано с кризисом современной цивилизации. Научно-рациональные элементы деятельности превозносятся как абсолютное добро, как не обремененные внутренними противоречиями. «По мысли В. И. Вернадского, ноосфера — это гармоническое соединение природы и общества, это торжество разума и гуманизма, это слитая воедино наука, общественное развитие и государственная политика на благо человека, это мир без оружия, войн и экологических проблем, это мечта, цель, стоящая перед людьми доброй воли, это вера в великую миссию науки и человечества, вооруженного наукой»<sup>2</sup>. Извиняет данный панегирик лишь то, что он высказан в юбилейном докладе. Но это вполне адекватное отражение отношения к ноосфере, до сих пор господствующего в нашем сознании, науке и философии.

## НООСФЕРА КАК РЕАЛЬНОСТЬ

Каково же действительное содержание процессов в «области планеты, охваченной разумной человеческой деятельностью», как определяет ноосферу философский словарь? При непредвзятом взгляде их надо назвать глобальными проблемами человечества. Становление ноосферы и возникновение угрожающего самому существованию рода людского кризиса — один и тот же процесс. Ноосфера как реальность представляет собой искусственную среду, которая теснит ареал биологического бытия. Формирование искусственной среды открыло перед людьми небывалые возможности роста материальной обеспеченности, комфорта и безопасности, подняло на новую ступень культурное развитие, но оно же ведет к загрязнению воды и воздуха, опустыниванию почвы, общей деградации естественной среды обитания. По последствиям для человека чрезмерное разрастание искусственной среды — явление противоречивое, с неясными перспективами.

Деминург искусственного — разум,

<sup>1</sup> Цит. по: Большая Советская Энциклопедия. М., 1977. Т. 27. С. 143.

<sup>2</sup> Барсуков В. Л., Яншин А. Л. // Вестн. АН СССР. 1988. № 6. С. 56.



мысль, проект. Их опредмеченное выражение — техника. «Разум есть потенциальная техника, техника есть актуальный разум», — отмечал П. А. Флоренский. — Другими словами, содержанием разума должно быть нечто, что, воплощаясь, дает орудие. А так как содержание разума, как выяснено, — термины и их отношения, то можно сказать: орудия — не что иное, как материализованные термины, и потому между законами мышления и техническими достижениями могут быть усматриваемы постоянные параллели»<sup>3</sup>. В технике для Флоренского воплощен логос, противостоящий хаосу. Хотя как религиозный человек он чувствовал узость сведения духа к разуму, культуры к науке и технике и вместо ноосферы предлагал говорить о пневмосфере («духосфере»), экспансия рациональной составляющей духа в XX в. была так сильна, что мышление стало отождествляться с духовностью и это понятие не прижилось. Не мудро — ведь потребность в обновлении мировоззрения, идеологии, психологии мы сводим к потребности в обновлении мышления, духовности — к менталитету, а любовь — к технике любви. Культура сциентизируется, технизируется, поэтому подлинным денотатом ноосферы становится искусственная реальность, образующий фактор которой — технология.

Структурно ноосфера и техносфера — синонимы. Не разрушая категориальной сущности, этот ряд можно продолжить понятиями наукоферы, радиосферы, инфосферы, интеллектосферы. И все они, порождаясь природой, «снимают» ее, противостоят ей. Основное глобальное противоречие, разламывающее нашу судьбу, — противоречие между естественным и искусственным, между универсумом природы и универсумом деятельности. Оно существовало с момента появления человечества, но ныне обострилось до критического состояния. Здесь нет смысла повторяться насчет различных возникающих перед нами опасностей. Об этом много пишут. Специфически философская проблема в другом: «Как удивительно неразумно устроена „ноосфера“, — отмечает Р. К. Баландин, и с ним приходится согласиться, — сколько бессмыслицы в поведении людей, если они пустячные, необязательные, а то и сомнительные удобства или удовольствия готовы оплачивать собственной жизнью»<sup>4</sup>.

Чем обусловлено это «неразумие» сферы разума? Только ли субъективными причинами — человеческой глупостью, слабостями, неадекватностью? Они, как говорится, «имеют место», но суть все-таки глубже. Осмелимся выдвинуть тезис, расходящийся с традиционными философскими представлениями в принципе: **субстанциально логос не является противоположностью хаоса**<sup>5</sup>. Все дело в уровне организационной сложности бытия и месте человека в нем.

Начиная с античности, стихийное, слепое, хаотическое отождествлялось с материей, телесностью, а форма, структура — с идеей, разумом. Мысль противостоит природе как сознание — бессознательному, как закон и мера — беспорядочному, косному, непредсказуемому. Если, однако, оппозицию логоса и хаоса опустить с божественно-космической высоты на землю, то это оппозиция освоенного и дикого (вареного и сырого, по К. Леви-Строссу), искусственного и естественного. Говоря современным языком, это, с одной стороны, знание, информация, а с другой — «вещность», субстрат, который надо организовать, «обработать». Подлинно мы знаем то, что создали сами. Горшок не может быть сложнее горшечника. Критерием истины, как и критерием нашего господства над природными объектами, считается практическое осуществление замысла по их преобразованию.

Но что происходит с этой тысячелетней парадигмой, когда ноосфера начинает преобладать над биосферой?

Она — «перестает работать», теряя объяснительную силу. Действительно, разве мы не свидетели «хаоса по-управленчески»? Все делается сознательно, по планам и программам, а результаты сплошь и рядом противоположны намечавшимся. В работах И. Пригожина показано, как хаос превращается в порядок. Но это отношение, видимо, симметрично, и порядок может превращаться в хаос.

Искусственная среда обретает способность к саморазвитию. У нее появляются черты, не вытекающие из первоначально поставленных людьми задач. Изменяясь по своему внутреннему закону, она становится бытием, которое не только «за» нами, но и «впереди» нас. Не только предметы, но и знания, информация, мысли, т. е. то, чем мы осваиваем мир, объективируясь, отчуждаются, перестают быть подвластными нам. Ока-

<sup>3</sup> Цит. по: Половинкин С. М., Флоренский П. А.: логос против хаоса. М., 1989. С. 56—57.

<sup>4</sup> Баландин Р. К. Область деятельности человека. Техносфера. Минск, 1982.

<sup>5</sup> Под субстанцией в данном случае понимается нечто устойчивое, сохраняющееся при любых изменениях (основа, субстрат, материал).

зывается, «своемерное», автономное развитие наряду с «дочеловеческой», природной реальностью присуще и реальности «постчеловеческой», искусственной, как предметной, так и информационной.

Рубеж самостоятельности любой системы по отношению к человеку определяется ее сложностью. Мы вступили в мир нелинейных взаимодействий, состоящий из систем с многозвенными обратными связями. Вернее, не вступили, а создаем, ибо сами по себе вещи не сложные и не простые, это зависит от притязаний к ним. Огурец прост для еды, сложнее его вырастить, необычайно трудная задача произвести его биологический аналог. И птица легко парит в поднебесье. Это просто ее жизнь. Но сколько сведений из механики, физики, химии нужно, чтобы в воздух, а тем более в космос, поднялся человек. Весьма сложно объяснить, как ребенок держит голову. К счастью, младенец не знает об этом и справляется без расчетов. Напротив, простейшее движение робота-манипулятора — результат предварительно составленной программы. В общем, сложность там, где искусственность. И чем отчужденнее процессы или объекты от возможности их непосредственного восприятия человеком как целостным телесно-духовным существом, тем они для него сложнее.

Специалисты-методологи говорят о контринтуитивности нелинейных систем. Действительно, нередко решения, рациональные по отдельности, в условиях сложного взаимодействия превращаются в иррациональные. Возникает «ловушка рациональности», выбраться из которой, руководствуясь последовательностью рассуждений, нельзя. Люди, плененные такой рациональностью, все экологические требования в какой-либо социотехнической системе воспринимают как безответственные и абсурдные, хотя на самом деле абсурд заключен в логике ее развития. Абсурд для человека. При управлении сверхсложными системами типична ситуация, когда отдельное конкретное решение по улучшению функционирования системы ведет к общему ухудшению. Например, чтобы разгрузить улицы Москвы от приезжих, на площади трех вокзалов построили огромный универмаг. Но, оказывается, люди не склонны удовлетворяться одним магазином, хотя бы в нем было «все». Зато он стал притягивать в город дополнительные массы приезжих. Так рациональное решение превращается в иррациональное, логос порождает хаос. Конечно, этот случай примитивен, развитие можно просчитать на несколько ходов дальше, но связи бывают еще более многоступенчатыми. На опреде-

ленном этапе управляющая система становится сложнее системы, которой надо управлять. И надеяться, что искусственная реальность, ноосфера как целое, как универсум деятельности будет подвластной нашей воле, хотя бы и вооруженной большими компьютерами, — значит плодить иллюзии.

По легенде, Прометей дал людям огонь — символ технического господства человека над природой. Теперь техника угрожает господством над человеком. Но вспомним, что Прометей дал нам еще одно благо:

«Хор: Не сделал ли ты больше, чем сказал?  
Прометей: Я от предвидения избавил смертных.

Хор: Каким лекарством их уварачевал?  
Прометей: Слепые в них я поселил надежды»<sup>6</sup>.

Ноосфера как гармония — сциентистский аналог социально-политической утопии коммунизма и прочих, более ранних мечтаний о рае. В соответствии с духом времени она опирается на науку. Так к ней и надо относиться, хотя против утопий и надежд вообще выступать нет смысла. Они полезны в той мере, насколько, смягчая трагические реалии, помогают жить. Когда же утопия самодовлеет, мешает трезвому взгляду на вещи, она может стать опаснее того, от чего спасает. **Нужны реалистические надежды, функциональные утопии.** Надежды на то, что возможно длительное совместное развитие биосферы и ноосферы, при котором скорость преобразования окружающей среды будет не выше скорости нашей адаптации к ней. Эти надежды надо отличать от иллюзий и вытекающих из них ошибочных действий, чтобы, если не исключить их, то хотя бы ограничить.

## О КОСМИЗАЦИИ ЖИЗНИ

Язык воспроизводит реальность и, по мере того как искусственная среда вытесняет естественную, вместо слова «природа» в нем начинают доминировать слова «ноосфера» и «космос». Природоцентризм сменяется космоцентризмом. Технизация природы вступила в стадию космизации жизни, и идеи ноотехносферы вписываются в рамки проникновения космического мировоззрения в земные дела. «Русский космизм», взгляды Вернадского и Циолковского, современные представления о ноосфере отличаются историческим контекстом формирования, степенью проработанности, но в сущности это

<sup>6</sup> Эсхил. Проклятый Прометей // Античная литература. Антология. Ч. 1. М., 1989. С. 231.



единая линия переориентации нашей жизнедеятельности с природы на технику, с Земли на космос.

Для технологии природа как биосфера, как нечто живое нужна на начальном этапе. В принципе же техника способна работать на безжизненных планетах, что открывает возможность безграничной космической экспансии ноотехносферы. Единственное «узкое место» при этом — человек. Ему нужен определенный диапазон температур, давления, состава воздуха, соблюдение множества других обусловленных земным происхождением параметров. Поэтому все космисты в конце концов приходят к идее «нового человека» — сверхчеловека или чего-то человекообразного, что не мешало бы дальнейшему прогрессу познания и техники.

Наиболее враждебен живой природе Циолковский. В его космических поселениях естественные существа радикально трансформируются. Одна из целей завоевания Солнечной системы — «ликвидировать безболезненно» все несовершенное, как огородник выпалывает сорные травы. На совершенных и несовершенных делаются и сами люди, а высшей степени совершенства они достигнут, превратившись в нечто «лучистое, подобное свету». Антиэкологический, антигуманный пафос этих благородных сциентистских фантазий слишком очевиден, и поэтому они замалчиваются. Зато идеи автотрофного питания человека научное сообщество обсуждает вполне серьезно. Предполагается, что он будет восполнять энергию непосредственно в химико-электрических процессах, минуя стадию ее превращения в органическое вещество, растения и прочие живые формы. Переходным этапом к этому можно считать питание гидропонной биомассой или растворами, вводимыми в кровь. Но рассуждающие об автотрофном питании избегают думать о том, во что при этом превратится человек, как изменится его облик, телесность и стоит ли его вообще тогда называть человеком. Можно ли считать человеком голову профессора Доуэля, к которой подводи питательные смеси и информацию? Чтобы уйти от неприятных вопросов, они толкуют о «первородном грехе человечества» (гетеротрофное питание), ссылаются на вегетарианцев, прибегают к демагогии.

Во времена Вернадского представления об автотрофной форме разума были довольно туманными. Сейчас другое дело. Сейчас можно уверенно заявить: мечты сбываются, автотрофы рядом с нами. Это стремительно совершенствующиеся системы искусственного интеллекта. Их создатели не сомневаются, что человеческий разум может быть воспроизведен искусственно. А где вос-

произведен, там и превзойден. Однако это уже будет нечто иное, не «мы». Не случайно в литературе появляются оценки искусственного интеллекта как этапа эволюционного снятия человеческого разума<sup>7</sup>.

В свете подобного развития событий разговоры об автотрофном человеке выглядят как мировоззренческая подготовка, своеобразный идеологический компост для произрастания искусственного интеллекта на Земле, хотя действительная сфера его активности — космос, как Земля — действительная сфера активности человека. Человек — космическое существо в том смысле, что Земля — тоже космическая планета, непосредственно же в глубоком космосе он жить не сможет и не будет. Он переродится. Даже при полетах в околосреднем пространстве тело для космонавтов в значительной мере обуза, они вынуждены тренировать его ради возвращения на Землю. Соотносительно с требованиями космической среды человек представляет собой робот нулевого поколения, «компьютер из мяса» и в таком качестве будет вытеснен более совершенными формами. По параметрам автотрофного интеллекта он — робообразное. Включенный во взаимодействие с высокой, сложной и скоростной технологией, он тормозит ее прогресс. Знаменитые слова Циолковского о невозможности вечно жить в колыбели справедливо для «разума вообще». Естественное человеческое мышление, сплетенное с чувствами и переживаниями, неотрывно от людей как земных, рождено-смертных, биологических, разделенных «по полам» существ.

М. Борн на вопрос о значении космических путешествий ответил, что это триумф интеллекта и трагическая ошибка здравого смысла. Успехи практической космонавтики, понимание неотвратимости ее развития заглушают подобные опасения. В отношении экологических последствий освоения космоса мы закрываем глаза и затыкаем уши. Наоборот, надеемся, что космос поможет Земле, спасет людей, если они погубят природу. Это вреднейшее заблуждение. Форма триумфа бездумной активности, внутри которой чаще всего и зреет трагедия, не позволяет подготовиться к ее достойному переживанию. О противоречивых последствиях продвижения человека в космос пора говорить во весь голос и поставить вопрос, на-

<sup>7</sup> Дискуссию об этом см.: Molik P. // J. British Interplanetary Society. 1984. Vol. 34. P. 414—419. Об отношении техники к природе в целом см.: Рополь Г. Техника как противоположность природы // Философия техники в ФРГ. М., 1989.

пример, о квотах на запуски ракет. Пора развеять эйфорию вокруг космизма как мировоззрения. Оно по меньшей мере амбивалентно. Подобного рода признания, правда изредка, высказываются даже теми, кто непосредственно занят в космосфере. «Лет двадцать назад,— говорит К. П. Феоктистов,— я был почти убежден, что человечество станет когда-нибудь расселяться в космосе. Но вот посчитал, подумал и теперь понимаю, что ничего из этого не получится. Дело в самой природе людей. Нам чуждо замкнутое пространство, так же как чужда космическая среда, с ее вакуумом и жесткой радиацией... И искать решение проблем, с которыми мы столкнулись на Земле, следует не на пути образования космических поселений, а на пути эффективного и глубинного использования достижений человеческого разума, того потенциала, что накоплен нашей цивилизацией. Но мне близка мысль о том, что космическая эра, начавшаяся 30 лет назад, символизирует прорыв человека в новую среду обитания. И возможно, подобно тому, как когда-то наши далекие предки вышли из океана на сушу, прорыв в космос означает, что появится новая раса людей, для которых ни вакуум, ни радиация, ни космические температуры не будут чужеродны»<sup>8</sup>.

Далее автор размышляет о том, насколько такие «люди» будут похожи на нас, оговариваясь, что вступает в область фантастики. Представляется, что ничего особо фантастического тут нет, а есть вопрос о соотношении живого биогенного разума — людей — и разума искусственного — роботов пятого и последующих поколений. Сходство можно найти с чем угодно, и если человека ампутировать до головы, а духовность до информации, то разница между ним и компьютером будет только количественная. С другой стороны, если робота наделить чувствами, переживаниями, телесностью, то разница тоже сотрется, но делать этого нет смысла, ибо это лишило бы его тех преимуществ, ради которых он создан. Высоко совершенные роботы — не новая раса людей, а новая форма разума — автотрофного, космического. Его развитие не остановить, за ним не угнаться. Единственное, пожалуй, здоровое отношение к данному процессу — параллельная борьба за сохранение земной среды как экологической ниши существования естественного человека.

## ПРЕЛЬЩЕНИЕ БЕССМЕРТИЕМ

Наступление сциентизма на жизнь сопровождается его выступлениями против смерти. Идеология автотрофности, рационализации, цефализации, отражая экспансию неотехносферы, непременно включает в себя мысль о бессмертии. Отрицание жизни маскируется заботой о ее спасении, более того, «совершенствовании». Как правило, это не лицемерие, а выражение объективного коварства, заложенного в диалектике реальности. Непосредственно к злу никто не стремится. Все делается на благо. Но зло так или иначе возникает как обратная сторона развития. Субъективно оно обычно осуществляется в форме положительных намерений. В самом деле, не умирать, жить вечно — разве это не высшая мечта человечества и каждого человека? Это не просто утопия, это «королева утопии».

Между тем смерть вплетена в самую суть жизни, в ее природу. Все рожденное должно умереть, чтобы родилось новое. Невытия нет. Все — бытие, а смерть — переход в другое, в инобытие. Акт рождения и смерти — самый глубокий, самый фундаментальный и драматический фазис обновления, связанный с превращением живого в неживое и наоборот. Исключить этап смерти — значит лишить бытие основательности, полноты пульсирования, создающих необходимое напряжение для его развития. Забота о бессмертии, начиная с древних религий, в той или иной форме всегда была выражением ухода от жизни. Касаясь в основном поведения личности, она была способом смягчения присущего ее самосознанию трагизма. В условиях становления искусственной реальности, желание бессмертия приобретает принципиально иной смысл. Оно подрывает жизнь как целое.

Представления Н. Ф. Федорова о бессмертии, воскресении из мертвых пронизаны откровенным отвращением к природе как «нашему общему врагу». Это сублимированное «наше» место «совершающего подвиг» аскета враждебному ему плотскому миру. Чувственная любовь к жизни заменяется умозрительной любовью к бессмертию. В отличие от других предшественников на стезе аскетизма, он гениально предугадал технические возможности преодоления природы, преобразовав мечты о рае и бессмертии на небе в полуинженерные по своей форме проекты их реализации в космосе. Не зря Лев Толстой считал его «слишком материалистом». Во взглядах Федорова удивительно сочетались мистические и прагматические компоненты. Его можно назвать автором одной из пер-

<sup>8</sup> Коммунист. 1987. № 14. С. 39—40.

вых грандиозных концепций, характерных для современного научно-религиозного сознания, когда в качестве «сверхъестественной силы» выступает некая высшая цивилизация, всемогущим богом является сверхмощный компьютер, а ангелами-посланниками — еженедельно атакующие нас пришельцы из космоса — НЛО, число которых по какой-то неведомой, скрытой в глубоком космосе причине особенно возрастает с началом подписной кампании.

Вообразить бессмертие можно по-разному: либо подразумевая несколько большую продолжительность жизни (но тогда незачем использовать несоответствующий термин), либо радикально — конечное существо должно стать бесконечным. Что прежде всего для этого нужно? Избавиться от брэнного тела, прервать цикл смертей и рождений. Необходимо «посадить» сознание, понимая его как информацию, на бессмертный неорганический субстрат, чем, в сущности, и являются системы искусственного интеллекта. Их отличие от человека — отсутствие души, духовных чувств, возникающих во взаимодействии мысли с природой: при встрече с внешней природой возникает техника, при встрече с внутренней природой возникает душа. Разум — это кинжал, воткнутый в тело человека. Образуется рана — его душа. Тогда внешняя природа тоже одухотворяется. Отнимите у человека сознание смертности, влечение и, страдание, чувство любви, красоты — и заветная мечта сциентистов осуществится. Она уже осуществляется, как через создание роботов с искусственным интеллектом, так и в самом человеке из-за угнетения его природного начала и кризиса эмоциональности, превращения ее «в нервы», что в совокупности выражается в утрате чувства жизни. Автотрофная ориентация доводит эти процессы до логического конца, а идеология бессмертия человека выступает как апология его смерти — смерти через вырождение.

Допустим, однако, возможность существования некоего бестелесного сознания. Это не человек, да и, вопреки традиционным религиозным представлениям, не душа, ибо для нее нужно тело. За «душой» научных сторонников бессмертия души стоит бессмертная информация. Она, разумеется, не простая, а осознавшая самое себя. Каков характер ее бессмертия? Может ли она быть «личной», индивидуальной? Нам кажется, что индивидуальное бессмертие невозможно не только из-за брэнности природного субстрата, но и «по определению». Его за-прещает сама логика. Бессмертие — бесконечность во времени, а понятие индивиду-

альности предполагает единичное, конечное. Индивидуальное, единичное потому и единичное, что выделено, о-граничено, о-конечно и в пространстве, и во времени. Пространство и время, как известно, неразрывны. О бессмертии, следовательно, можно говорить лишь применительно к бытию в целом. Отдельное, индивидуальное не бессмертно, будь то тело, душа или конкретный информационный комплекс. Умирает даже информация, ибо при изменении она должна обновляться.

У космистов, сциентистов нет ясности в отношении личного бессмертия. В свое время известный кибернетик В. М. Глушков предлагал людям вместо смерти «уйти в машину», что в принципиальном плане уже осуществляется. Наряду с тем, что идеи, мысли большинства умерших остаются в памяти родственников или в книгах, они теперь кодируются, вводятся в компьютеры, циркулируют в единой системе информации. Образы умерших маячат на телеэкранах, говорят, поют и пляшут. Но мы почему-то не считаем их живыми. Впрочем, не все. Есть люди, твердо уверенные «во всесилиии знания, побеждающего смерть и могущего на базе информационных программ биополевых систем возратить к жизни всех, как говорится, ушедших в небытие, но в новой, более совершенной форме, на небелковой основе»<sup>9</sup>. Таким образом, мы встретимся со своими воскресшими отцами, которые, правда, будут «на небелковой основе» (знаем ли мы тогда их?) и предстанут «более совершенными» (а мы, увы, рождались от несовершенных). Весь этот вздор нужен для самообмана и отождествления небелковых, т. е. автотрофных, систем с людьми, в то время как на самом деле эти «воскресшие отцы», а вернее, «большие братья» — новые мощные и в целом действительно бессмертные носители информации, возникающие в ходе становления искусственной реальности.

Как ни странно, в период зарождения русского космизма при господствовавшей тогда почти всеобщей религиозности отношение к нему было более здоровым. Не только со стороны «позитивистов» или атеистов. Бердяев, например, был убежден, что обещаемое ими бессмертие безлично, а в таком случае бессмысленно. Человек у них растворяется в космических планах, а идея бессмертия есть его своеобразное «прель-

<sup>9</sup> Манев А. К. Философский анализ антиномий науки. Минск, 1974. С. 136.

щение»<sup>10</sup>. Думается, что подобная оценка сохраняет свое значение, более того, на фоне сциентистского перерождения сознания людей актуализируется. Идейная «работа на бессмертие», поставленная на научную почву, грозит ускорить наш конец. Ей надо противостоять: «Пусть жизнь и умирает, но смерть не должна жить!»<sup>11</sup>.

В бессмертие, как и в бога, можно только верить. Это область, как доказал еще Кант, **практического разума**. Объекты веры, поклонения историчны, они меняются: священные камни, деревья, тотемные животные, богочеловек (Будда, Христос, Мухаммед) и вот — бессмертная техника, мыслящий космос, большие компьютеры. Ряд бесконечен, а мы конечны. Стоит задуматься: если уж потребность сознания в постулировании некоего абсолюта неистребима, не лучше ли продолжать культивировать веру в бога в образах человека?

### КОЭВОЛЮЦИЯ — ПОСЛЕДНИЙ РЕДУТ ГУМАНИЗМА

В оценке перспектив человека в свете становления ноосферы явственно прослеживаются две линии: одна — на его фактическое вытеснение техникой, лишение условий и смысла существования, другая — на «выживание», совместное развитие биосферы и ноосферы. «Пятая метаморфоза технологии,— пишет, например, один из типичных представителей первого подхода,— очевидно, произойдет в 2180—2230 гг. в результате **передачи интеллектуальных способностей человека технике** (выделено мной.— В. К.), основанной на биосинтезах, на биотронном производстве. Этот период можно назвать биоинтеллектуальной революцией, которая охватит основные области человеческой деятельности, освободив его от забот о материальном производстве»<sup>12</sup>.

Чего здесь больше: цинизма или...? Судя по искренности тона, больше второго, в чем автор, видимо, не отдает себе отчета. Все уйдет от людей, даже интеллектуальные способности, а он все радуется, полон планов скорейшего достижения подобного состояния. Может, эти способности от него уже ушли? А вообще-то не до шуток. Сциентизм выхолащивает все новые и новые

сферы нашего сознания, по мере того как техника подавляет жизнь.

В широком мировоззренческом плане оппозиции сциентизма и гуманизма соответствует противостояние идеологии универсальной эволюции, когда все «низшее» служит материалом для «высшего» — и коэволюции, предполагающей, что появление новых форм не лишает места во Вселенной предшествующие формы, ибо она бесконечна и бесконечно разнообразна. На Земле сосуществуют виды растений, животных с разницей в возрасте появления в миллионы лет. Универсум не направлен к какой-то точке или финалу и как целое никуда не развивается, а меняется, пульсирует. Следовательно, говорить надо не о развитии, а о движении материи, предполагая в нем как прогрессивные, так и регрессивные ветви, моменты равновесия, периоды функционирования. Это, в отличие от концепции универсального эволюционизма, «плюралистическая» Вселенная.

Противостояние сциентизма и гуманизма отражается в трактовке самого понятия ноосферы. Она рассматривается, например, как среда, поглощающая (под предлогом регулирования) все естественное. По мнению Н. Н. Моисеева, лучше говорить об «эпохе ноосферы», что предполагает сохранение самостоятельности биосферы и ноосферы при их внутренней взаимосвязи. Так же обстоит дело и с пониманием проблем экологии. С одной стороны, это так называемое экологическое производство, т. е. имитация функций природы при параллельном ее истреблении, что нельзя охарактеризовать иначе, как псевдоэкологию, экспансию технологизма в экологическом маскхалате, с другой — экологизация производства, попытка совместить с природой так, чтобы любили и берегли ее не только мы в своих благих намерениях, но и наша техника. Для этого она должна иметь «человеческое измерение».

Похоже, что в экологии вместо пассивной «защиты природы» или даже заботы о ее «рациональном использовании» центр тяжести надо переносить на регулирование искусственной среды. Вместо упований на ноосферу, которая будет управлять всем и вся, надо подумать, как управлять самой ноосферой. Мы должны бороться за ее «приведение» к природе, к мере человека, соотнося ее с возможностями нашего приспособления к инновациям. Обеспечение коэволюции естественного и искусственного, биосферы и ноосферы становится основным условием нашего выживания.

<sup>10</sup> Бердяев Н. Самопознание. Опыт философской автобиографии. Париж, 1949.

<sup>11</sup> Маркс К. и Энгельс Ф. Соч. Т. 1. С. 64.

<sup>12</sup> Бондаренко А. Д. Современная технология: теория и практика. Киев, 1985. С. 123.

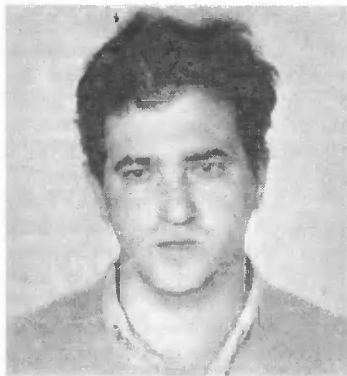
# И СТАЛА ЖИЗНЬ

Любой ученый откажется даже от прекрасной теории, если она не подтверждена фактами. Жизнь на Земле — факт столь же несомненный, как и то, что когда-то ее не существовало. Не требовалось никаких доказательств и объяснений, пока создателем всего сущего признавался Всевышний, но теперь мы признаем не чудо сотворения, а естественный ход событий: химическая эволюция привела к образованию разнообразных органических соединений, из которых на следующем этапе — в процессе предбиологической эволюции — возникли первые клетки.

Над разгадкой этого процесса и бьются умы, множа гипотезы. Ни одна из них не подтверждена в экспериментах (но такие попытки делаются), однако каждый очередной романтик — от рядового ученого до маститого — надеется восстановить, хотя бы умозрительно, цепочку событий, не оставившую следов в истории Земли. Еще недавно на предбиологическую эволюцию отводилось около 2 млрд лет, в которые, тем не менее, «укладывались» далеко не все гипотезы. Но оказалось, что нет и 2 млрд: органическое вещество, сходное с тем, из которого состоят современные живые существа, обнаружено в Гренландии в отложениях возраста 3,8 млрд лет, а в австралийских породах возраста 3,5 млрд лет найдены несомненные свидетельства существования живых организмов. Вряд ли условия на Земле стали приемлемыми для формирования жизни раньше 4 млрд лет назад, значит, предбиологическая эволюция могла длиться не более 100—200 млн лет.

Именно в столь малый период времени и пытаются «уложить» ее авторы статей предлагаемой подборки. Физико-химический сценарий рассматривает М. М. Каценберг, «ламарковский» механизм (через «упражнение молекулы») — С. В. Багоцкий, на блочном принципе отбора полинуклеотидов строит гипотезу С. Э. Шноль. Каждый автор раскрывает суть глобального механизма, не всегда объясняя частности, чтобы оставить простор для мысли пытливого читателя.

## М. М. Каценберг От молекул к клетке



Марк Миронович Каценберг, психолог. Область научных интересов — проблемы саморазвития материального мира, излюбленный метод исследований — теоретическое моделирование.

**С**ОВРЕМЕННАЯ наука располагает обширными сведениями о химической эволюции органических веществ, предшествовавшей возникновению жизни. В условиях молодой Земли, в потоках УФ-излучения и радиации, в вихрях раскаленных газов и электрических разрядов синтезировались многие органические молекулы, например аминокислоты, сахара, азотистые основания, нуклеотиды, полинуклеотиды, полипептиды. Накапливаясь в водоемах, они становились составной частью так называемого первичного бульона. За счет каких же процессов этот молекулярный хаос превратился в феноменальную сложность и упорядоченность живой клетки? Чтобы ответить на этот вопрос, нужно, зная начальные условия и конечный результат предбиологической эволюции, воссоздать цепочку промежуточных процессов, определить динамику изменений условий среды и критериев отбора, выявить структурные и функциональные свойства всех поколений пробионтов. Здесь предлагается теоретический анализ добиологических событий, основанный на принципе устойчивости.

Устойчивость — это способность материальной системы в ответ на меняющие ее внешние воздействия направленно воспроизводить исходную специфичность, т. е. отражать воздействия. Но каждая система устойчива лишь в определенном диапазоне воздействий, за его пределами она разрушается. Никакие гипотетические объекты, не отвечающие требованию устойчивости к природным факторам молодой Земли, не могли претендовать на роль объектов предбиологической эволюции (будем называть ее для краткости абиогенезом). В современном мире устойчивы физические системы (атом, молекула) и живые (клетка, организм), а в добиологическую эпоху должны были существовать устойчивые системы, занимавшие промежуточное положение между первыми и вторыми. Автор данной статьи предлагает модель абиогенеза, в которой требованию устойчивости отвечают все звенья перехода от первичного бульона к клетке.

### ПЕРВЫЙ ЭТАП. ФОТОКАТАЛИЗ

Какими бы ни были пробиотические молекулярные образования, они должны были обладать устойчивостью к УФ-излучению — интенсивному и постоянному энергетическому фактору. Сейчас организмы защищены от ультрафиолета озоновым экраном, но на заре абиогенеза его не было. Какие же соединения первичного бульона могли быть элементами УФ-устойчивых систем?

Известно, что УФ-излучение вызывает в нуклеиновых кислотах так называемые триплет-экситонные переносы энергии<sup>1</sup>: УФ-квант поглощается одним из азотистых оснований макромолекулы, оно переходит в возбужденное состояние, затем передает энергию соседнему основанию и т. д., само же возвращается в первоначальное состояние. Перенос энергии не сопровождается перемещением зарядов (электронов или дырок), а значит, не создает разность потенциалов.

В экспериментах триплет-экситонные переносы энергии успешно идут в оптически активных 3'-5'-нуклеиновых кислотах, содержащих нормальные для клеток азотистые основания. Для этого требуется строгое соответствие квантовых свойств соседних оснований и оптимальные расстояния между ними. Перегибы полинуклеотидной цепи, включения модифицированных оснований или другие отклонения от упорядоченной

первичной структуры создают препятствия для экситонного взаимодействия, поскольку в участках с такой структурой энергия экситона может высвободиться и вызвать изменение макромолекулы. В специальных экспериментах подтверждено, что УФ-индуцированные деструкции ДНК происходят не в точках поглощения УФ-кванта, а в точках с внутренней предрасположенностью к деструкции<sup>2</sup>.

Нуклеиновые кислоты первичного бульона изначально не обладали структурной упорядоченностью, присущей ДНК и РНК. При многократных поглощениях УФ-света структура неустойчивых участков менялась, а те фрагменты, в которых был возможен триплет-экситонный перенос, сохранялись. Происходила своеобразная селекция, накапливались полинуклеотиды с первичной структурой биологического типа. Это был первый шаг к формированию УФ-устойчивых молекулярных систем.

Однако только такой перенос еще не обеспечивал устойчивость макромолекул, т. е. не гарантировал их освобождение от поглощенной энергии и возврат в невозбужденное состояние. В условиях интенсивного УФ-облучения для оттока энергии требовались индуктивно-резонансные взаимодействия, в которых от полинуклеотидов (доноров) она передавалась бы каким-либо другим соединениям — акцепторам. Такие взаимодействия возможны при условии, что полоса флуоресценции донора перекрывается с полосой поглощения акцептора, а расстояние между ними примерно  $100\text{Å}$ <sup>3</sup>. В первичном бульоне акцепторами могли бы стать молекулы многих органических соединений, но вероятность такого их сближения была весьма мала.

В живых клетках контакты молекул-доноров и молекул-акцепторов обеспечивают ферменты. Их непрменные компоненты — полипептидные цепи — синтезируются матричным путем, а структурные и функциональные свойства строго запрограммированы. Но ферменты недолговечны, они быстро утрачивают функциональную специфичность, однако клеточный катализ устойчив, так как выбывшие из строя молекулы замещаются новыми. Без обновления полипептидного материала ферментные системы клеток обречены на распад.

В первичном бульоне не было матричных программ и не могло быть ферментов, тем не менее должны были существ-

<sup>2</sup> Там же. С. 175.

<sup>3</sup> Пасынский А. Г. Биофизическая химия. М., 1968. С. 342.

<sup>1</sup> Ладик Я. Квантовая биохимия для химиков и биологов. М., 1975. С. 171.





Фотокаталитический комплекс. В этом комплексе, образовавшемся за счет нековалентных связей, поглощенная кольцевым олигонуклеотидом энергия УФ-излучения передается субстрату, который и подвергается структурным преобразованиям. Полипептид играет роль посредника — поставляет субстрат в зону передачи энергии, сам же остается неизменным.

воватъ силы, способные упорядочить межмолекулярные контакты и обеспечить формирование устойчивых нуклеопротейдных образований.

Рассмотрим два типа взаимодействий полипептидов с полинуклеотидами, поглощавшими УФ-энергию в первичном бульоне. Первый — полипептид служит непосредственным акцептором энергии в индуктивно-резонансных переносах, что вызывает в нем образование свободных радикалов и изменения структурных и функциональных свойств. Второй — полипептид выступает в роли посредника: будучи в контакте с полинуклеотидом, связывает определенные молекулы (субстраты) и поставляет их в зону индуктивно-резонансного переноса. В этом варианте полипептид не поглощает энергию, и потому его структура и функции остаются неизменными, а энергетическим воздействиям подвергаются субстраты. Перед нами устойчивый к УФ-излучению нуклеопротейдный комплекс, который направляет энергию на фотокаталитические преобразования субстратов.

Предположим, что в первичном бульоне в ходе многократных взаимодействий первого типа некоторые полипептиды приобретали субстратную специфичность, после чего могли включаться в нуклеопротейдные комплексы в качестве элементов, связывающих субстрат, т. е. переходили к взаимодействиям второго типа. Чем эффективнее такие полипептиды связывали субстраты, тем дольше сохранялась устойчивость комплексов. Если субстратная специфичность полипептидов исчезала, они вновь оказывались в роли акцепторов энергии — происходил

возврат к взаимодействиям первого типа. УФ-излучение стало не только источником энергии межмолекулярных взаимодействий, но и той внешней силой, которая направляла отбор макромолекул при формировании устойчивых надмолекулярных комплексов.

Важнейшее свойство живой материи — ее динамичность, которая проявляется в периодическом распаде и последующей самосборке многочисленных надмолекулярных структур цитоплазмы. Такие преобразования обусловлены метастабильными молекулярными связями, которые сохраняются за счет диссипации энергии в период функциональной активности субструктур. Допустим, что межмолекулярные связи в древних нуклеопротейдных комплексах также были метастабильными. Ночью, в отсутствие УФ-излучения, они распадались, а днем повторялась самосборка. Распад и самосборка, подчиненные суточному ритму, усиливали изменчивость и отбор макромолекул, были необходимым условием предбиологической эволюции.

Устойчивости нуклеопротейдных комплексов, зависящей от их ориентации к потоку УФ-света, благоприятствовало образование из них плавающих метастабильных пленок. Помимо непосредственных участников фотокатализа (трансформаторов УФ-энергии и субстратсвязывающих элементов) эти пленки, видимо, включали и другие молекулы, посредством которых комплексы соединялись друг с другом, повышалась их плавучесть и т. п.

Чтобы самосборка надмолекулярных пленок стала результативной, требовалась универсальность составляющих элементов, в первую очередь полинуклеотидов. Если устойчивость их в ходе триплет-экситонных переносов зависела от упорядоченности первичной структуры, то на энергетические процессы в молекулярных комплексах могла влиять и вторичная структура — наличие одинарных и спаренных участков цепи, их пространственное расположение. Вероятно, роль универсальных преобразователей энергии в фотокаталитических пленках могли выполнять сравнительно короткие олигонуклеотиды с кольцевобразной вторичной структурой. В них триплет-экситонный перенос энергии превращался в циркуляцию по кольцу, за счет чего существенно увеличивалось время жизни возбужденного состояния и повышалась вероятность контактов с акцепторами энергии.

В кольцевом олигонуклеотиде энергия нескольких квантов могла циркулировать одновременно и передаваться акцептору по достижении некоторого уровня, зависевше-

го от размеров кольца. В этом случае процесс превращения энергии УФ-излучения в энергию индуктивных резонансов приобретал признаки своеобразных автоколебаний. «Энерговооруженность» равных кольцевых олигонуклеотидов оказывалась одинаковой, а значит, достигалась и функциональная универсальность, благоприятная для самосборки надмолекулярных образований. Олигонуклеотиды, не подходившие для роли универсальных элементов фотокаталитических комплексов, при самосборке не обеспечивались акцепторами энергии и, поглощая УФ-кванты, подвергались структурным изменениям. Результат такого отбора — повышение упорядоченности строения фотокаталитических пленок. В числе субстратов фотокатализа часто оказывались и полипептиды. Их изменчивость усиливалась, ускоряя отбор и способствуя росту надмолекулярных структур.

Итак, на первом этапе абиогенеза УФ-излучение служило деструктирующей силой, направлявшей процессы отбора в первичном бульоне. Сформировались метаустойчивые каталитические молекулярные системы, для которых оно стало уже не разрушителем, а необходимым источником энергии.

## ВТОРОЙ ЭТАП. ФОТОФОСФОРИЛИРОВАНИЕ

Тысячи лет однослойные фотокаталитические пленки расселялись в древних водоемах, росли, превращая субстраты, поступавшие из первичного бульона, в свои функциональные элементы. Если пленки располагались в несколько слоев, их энергоснабжение оказывалось неоднородным: верхние участки поглощали ультрафиолет, нижние — испытывали дефицит энергии и диссимилировали. Чтобы слои, куда не проникал УФ-свет, стали устойчивыми, требовалось качественное изменение принципов преобразования и переноса энергии.

В реальных автотрофных клетках есть специальные системы, преобразующие энергию света в химическую. Одна из систем — фотофосфорилирование, в ней за счет энергии видимого света синтезируются молекулы-макроэрго (богатые энергией) — АТФ, ГТФ и др. Основная функция системы — суммирование квантов света и перенос энергии в центры фосфорилирования. В доферментную эпоху такие весьма сложно устроенные системы не могли возникнуть.

Древние фотокаталитические пленки (в отличие от современных автотрофов) поглощали не видимый свет, а более богатый энергией ультрафиолет, поэтому для

фосфорилирования хватало энергии единичных квантов. Лишь после того, как нуклеопротеидные комплексы приобрели субстратную специфичность к нуклеотидам, УФ-энергия стала направляться на присоединение к ним неорганических фосфатов, имевшихся в первичном бульоне, иначе говоря, на синтез макроэргов.

Появление систем фотофосфорилирования в верхних участках пленок сделало возможным переход к многослойной организации пробийонтов. Нижние слои, закрытые от УФ-излучения, стали потреблять химическую энергию, которая высвобождалась при гидролизе макроэргов, благодаря чему сохранялась устойчивость этих слоев. Так совершился переход к новому уровню организации материи — к устойчивым многослойным образованиям — пробийонтам.

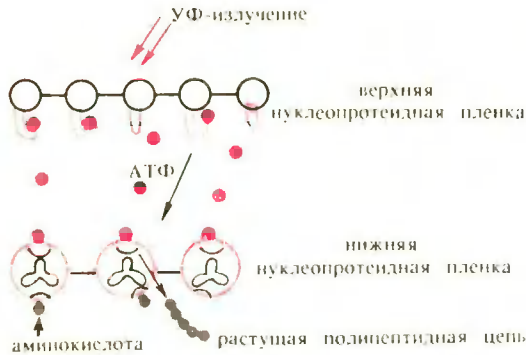
Такие пробийонты нуждались в значительно большем количестве полипептидного сырья, чем их предшественницы — однослойные пленки, а в первичном бульоне запасы полипептидов были ограничены. Значит, пробийонтам пришлось осваивать синтез полипептидов из аминокислот и таким образом обеспечивать себя «строительным материалом».

В реальных клетках полипептиды синтезируются на матрицах — иРНК (копиях ДНК) специальными системами, состоящими из рибосом и транспортных РНК (тРНК), а источником энергии служит АТФ.

Систем матричного синтеза ни РНК, ни полипептидов у пробийонтов не было, но можно допустить, что в нижних слоях существовали условия для безматричного синтеза полипептидов — полимеризации аминокислот за счет энергии макроэргов. Для такого синтеза очередность аминокислот не имела значения, поэтому система полимеризации могла быть устроена значительно проще, чем современная система биосинтеза.

Но для комплексов полимеризации нужны были полинуклеотиды с достаточно сложной пространственной конфигурацией типа «клеверный лист» (так устроены современные тРНК). Именно они могли обеспечить энергетическое сопряжение микропроцессов при взаимодействии комплексов с донорами и акцепторами энергии за счет включения кольцеобразных зон полинуклеотидов в центры межмолекулярной индуктивно-резонансной передачи. Полинуклеотиды типа «клеверный лист» могли возникнуть в защищенных от ультрафиолета нижних слоях.

Полимеризация осуществлялась полинуклеотид-полипептидными комплексами, в



Безматричный синтез полипептидов в многослойных пробионтах. В нуклеопротеидных комплексах верхней пленки за счет фотофосфорилирования образуются макроэрги [здесь АТФ], которые диффундируют в нижние слои и обеспечивают химической энергией полимеризацию аминокислот. Она стала возможной благодаря тому, что олигонуклеотиды нижних пленок образовали структуру типа «клеверный лист» [их кольцевые зоны обеспечили передачу энергии макроэргов, необходимой для синтеза пептидных связей], а полипептиды приобрели средство как к макроэргам, так и к аминокислотам.

которых одни полипептиды были специфичны к донорам энергии (связывали макроэрги), другие — к акцепторам (присоединяли аминокислоты). Появление субстратной специфичности у полипептидов, ставших элементами надмолекулярных комплексов, было результатом естественного отбора в ходе многократных ассимиляций и распадов. Взаимодействуя с макроэргами и направляя их химическую энергию на полимеризацию аминокислот, такие комплексы обеспечили устойчивость структур в нижних слоях пробионтов. Безматричный синтез полипептидов закрепился эволюционно, так как дал пробионтам селективное преимущество — возможность пополнять запасы полипептидного сырья.

Так закончился второй этап абиогенеза, на котором причиной деструкций было неравномерное распределение УФ-энергии из-за затенения одних слоев другими. В ответ на это возникли пробионты с функциональной дифференцировкой субструктур и энергоснабжением за счет фотофосфорилирования и диффузии макроэргов. Неравномерность УФ-облучения из помехи превратилась в обязательное условие устойчивости пробионтов.

### ТРЕТИЙ ЭТАП. МАТРИЧНЫЙ СИНТЕЗ ПОЛИНУКЛЕОТИДОВ

Спонтанные изменения структуры нуклеиновых кислот под действием УФ-излучения, достаточные для роста фотокатали-

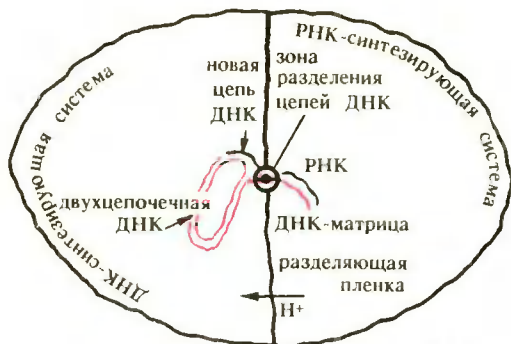
ческих пленок на первом этапе, в дальнейшем не могли обеспечить приток специализированных макромолекул. Полинуклеотиды со случайными конфигурациями вносили хаотичность и рассогласования в энергетические процессы, что служило деструктурирующим фактором, сдерживающим эволюцию пробионтов. Требовались молекулярные системы, способные синтезировать (тиражировать) полинуклеотиды биологического типа.

В реальных клетках РНК и ДНК синтезируются матричным путем при участии многочисленных ферментов, которые упорядочивают межмолекулярные взаимодействия. Параллельный синтез РНК и ДНК в ходе транскрипции обеспечивает точность копирования РНК лишь с одной цепи ДНК, а также восстановление и надежную сохранность матрицы.

Древнейшие аналоги транскрипции, вероятно, зародились в пробионтах на третьем этапе абиогенеза. Исходный матричный материал — различные фрагменты ДНК — у них, несомненно, имелся, а макроэрги (сырье для синтеза ДНК и РНК) производились благодаря фотофосфорилированию. Но поскольку еще не было ферментов, требовалась иная сила, способная управлять всей транскрипцией: разделением двухцепочечной ДНК, синтезом РНК на одной из ее цепей, восстановлением двойной спирали ДНК.

Это мог быть сопряженный с каким-либо катализом перенос протонов в нижних слоях пробионтов, подобный трансмембранному переносу в живых клетках, открытому П. Митчелом. За счет такого переноса создавались параметрические различия (по рН и ионному составу) в соседних участках внутренней среды: в одних возникали условия для разделения цепей ДНК и последующего ее восстановления, в других — для синтеза РНК. Когда протонный градиент достигал некоего пускового значения, цепи ДНК разделялись, одна из них попадала в соседний участок, где служила матрицей для синтеза РНК, а по оставшейся воспроецировалась недостающая цепь ДНК.

Итак, эволюционным препятствием на третьем этапе абиогенеза были деструктивные процессы, вызванные низким качеством полинуклеотидов, отсутствием у них четкой функциональной специализации и, как следствие, низкой упорядоченностью переносов и преобразований энергии. Пробионтам пришлось освоить матричный синтез РНК и ДНК. Основным критерием отбора стало качество геномов и, соответственно, качество и количество синтезируемой РНК, ее пригодность для включения в молекулярные комплексы. Устойчивость пробионтов стала обес-



**Бесферментная транскрипция.** За счет протонного переноса [ $H^+$ ] создавались разные условия внутренней среды в соседних участках, в результате одни становились ДНК-синтезирующей системой, а другой — РНК-синтезирующей. В первом разделялись цепи ДНК и достраивалась двойная спираль, в соседнем — по матрице ДНК синтезировалась РНК.

печиваться не только направленным преобразованием энергетических потоков, но и матричной информацией. Повысилась согласованность энергетических процессов и открылись новые перспективы усложнения.

#### ЧЕТВЕРТЫЙ ЭТАП. ПЕРВЫЕ ФЕРМЕНТЫ

Зародилась система транскрипции, усложнилась структурно-функциональная организация пробионтов, но их жизнь была кратковременной, так как необходимая УФ-энергия поступала только в дневное время. Однодневная жизнь стала очередным эволюционным препятствием, для преодоления которого нужны были принципиально новые системы энергоснабжения, активные и днем и ночью.

Основа энергоснабжения у многих бактерий — гликолиз (частичное окисление некоторых органических соединений). Высвобождающаяся при этом энергия направляется на фосфорилирование, т. е. на синтез АТФ и других макроэргов. Различные варианты окислительного фосфорилирования служат также важной составной частью энергоснабжения всех живых клеток.

Фосфорилирование, родственное гликолизу, видимо, возникло на четвертом этапе абиогенеза и позволило пробионтам перейти от ежедневных циклов ассимиляции — распада к круглосуточной устойчивости. Но фосфорилирование немислимо без ферментов. Без них энергия, выделяющаяся при окислении органических соединений, не может направляться на синтез АТФ в силу того, что оправдан обратный перенос энергии — от АТФ к другим молекулам. Только фермен-

ты могут связать воедино сложный химический конвейер окислительного фосфорилирования и только матричный синтез полипептидов может обеспечить тиражирование ферментов и их постоянное обновление.

Чтобы пробионты перешли к круглосуточному энергоснабжению, им пришлось создать системы матричного синтеза полипептидов — первых ферментов. Предпосылка уже была — это матричный синтез полинуклеотидов, зародившийся на третьем этапе абиогенеза. РНК, синтезированная на матрице ДНК, включалась в системы безматричного синтеза полипептидов, что повышало упорядоченность и эффективность этих процессов и способствовало их модернизации.

Следующий эволюционный шаг — появление генетического кода, который мог быть значительно проще современного. Даже грубое кодирование основных типов аминокислот могло влиять на очередность их полимеризации при синтезе полипептидов и давало пробионтам огромные селективные преимущества. Первые аналоги рибосом могли быть несложными бесферментными молекулярными образованиями, возникшими при взаимодействии матриц РНК с комплексами, которые связывали аминокислоты. Именно специализация таких комплексов, предшественников тРНК (их субстратная специфичность к конкретным аминокислотам и кодовая избирательность к кодомам иРНК) создала основу матричного кодирования. Соответствие тРНК и иРНК в бесферментных матричных системах могло контролироваться включением или выключением триплет-экзитонных переносов энергии в зоне кодон-антикодонного взаимодействия. Возможно, и в рибосомах реальных клеток переключения энергетических микропроцессов в зоне контактов тРНК и иРНК служат одним из факторов, контролирующих комплементарность.

Попытки синтезировать полипептиды на матрицах могли продолжаться в пробионтах длительное время, не оказывая существенного влияния на эволюцию. Но как только в результате проб и ошибок образовались полипептиды, способные обеспечить сопряжение какой-либо окислительной реакции с фосфорилированием, матричные процессы приобрели огромную селективную ценность. Произошла переориентация отбора пробионтов: главным критерием стало качество полипептидов, синтезированных на матрицах, влияние на окислительное фосфорилирование и увеличение выхода АТФ.

Первыми продуктами матричного синтеза полипептидов были ферменты, катали-



зировавшие окисление сахарного альдегида в фосфоглицериновую кислоту, сопряженное с переносом неорганического фосфата на АДФ, приводившим к образованию АТФ. Благодаря окислительному фосфорилированию пробионты перешли в режим кругло-суточного энергоснабжения.

На этом этапе эволюционный процесс мог существенно ускориться за счет возникновения так называемых гиперциклических сетей каталитических реакций (математическая модель саморазвивающихся гиперциклов, включающих матричные процессы, разработана немецким ученым М. Эйгеном<sup>4</sup>). Зарождение и эволюция гиперциклических систем должны были в относительно короткий срок привести к формированию ферментного аппарата, имеющегося в живых клетках и, соответственно, генетического материала, необходимого для точной репродукции многих макромолекул. Арсенал ферментов стал быстро нарастать, появились целые системы, обеспечивающие биосинтез аминокислот,

пигментов, полисахаридов и т. д. Затем у пробионтов появились биполярные мембраны и полисахаридные оболочки, образовались внутренние каркасы из микрофиламентов, модернизировалось энергоснабжение, и они превратились в живые клетки.

Итак, переход от разобценных органических молекул в древних водоемах к первым живым клеткам включал четыре эволюционных этапа. На каждом из них молекулярные системы преодолевали действие деструктурирующих факторов, служивших источником селективного давления. Пробионты всякий раз переходили на новый уровень устойчивости, но всякий раз появлялись и новые, ранее незначимые деструктурирующие факторы. Таким образом, поэтапная смена источников селективного давления определяла саморазвитие молекулярных систем в направлении от первичного бульона к клетке. Финал предбиологической эволюции стал началом новой эры развития Земли — эры жизни.

<sup>4</sup> Эйген М., Шустер П. Гиперцикл. М., 1982.

## С. В. Багоцкий **От молекулярного ламаркизма к дарвинизму**



Сергей Владимирович Багоцкий, научный сотрудник лаборатории водных экосистем Института водных проблем АН СССР. Научные интересы связаны с моделированием водных экосистем и теорией эволюции.

**Д** О ВОЗНИКНОВЕНИЯ эволюционной теории зоология и ботаника были чисто описательными, т. е. отвечали на вопрос, как устроены животные и растения, но даже не пытались ответить, почему они устроены так, а не иначе. Научно обоснованная постановка такого вопроса стала возможной лишь после появления теории эволюции, открывшей перспективы для превращения зоологии и ботаники из набора фактов в стройную и логичную систему. Сходная ситуация складывается с молекулярной биологией, биохимией и цитологией. На сегодня эти науки описывают факты, но не объясняют их, а без этого невозможно их дальнейшее столь же успешное, как сейчас, развитие. Чтобы перечисленные науки прев-

ратились в объяснительные, нужно хотя бы на принципиальном уровне понять процессы, в ходе которых сформировалась жизнь. Иными словами, теория происхождения жизни должна внести логику в комплекс наук, изучающих общие свойства живых организмов, подобно тому, как теория биологической эволюции внесла логику в науки, изучающие биологическое разнообразие.

### АЛЬТЕРНАТИВА ЕСТЕСТВЕННОМУ ОТБОРУ — САМОУПЛОТНЕНИЕ

Ключевым моментом в предбиологической эволюции было, несомненно, накопление некоего минимума наследственной информации, достаточного для функционирования простейшей клетки. Как могла накопиться такая информация? Согласно современным представлениям, единственным механизмом может быть естественный отбор. Но времени на него явно мало: предбиологическая эволюция, приведшая к появлению первых живых организмов, могла, по-видимому, длиться не более 100 млн. лет.

Альтернативой естественному отбору случайных изменений могут быть направленные изменения носителей наследственной информации — эволюция «по Ламарку». Все современные знания о наследственности и ее молекулярных механизмах говорят, что это невозможно — биологическая эволюция идет, несомненно, «по Дарвину», а не «по Ламарку». Но уверенность в невозможности «ламарковского» механизма вряд ли разумно переносить с биологической эволюции на предбиологическую.

Главный козырь ламарковского механизма на доклеточном этапе эволюции — быстрота, ведь времени на случайную изменчивость и отбор нужных вариантов катастрофически не хватает. Именно поэтому здесь и делается попытка рассмотреть такой механизм эволюции.

Сейчас уже нет сомнений, что в добиологическое время синтезировались самые разнообразные низкомолекулярные органические соединения, которые могли полимеризоваться с образованием большого количества сложных молекул самой разнообразной химической природы. Чтобы такие полимеры, еще не способные к самокопированию, могли сыграть серьезную роль в последующих событиях, они должны быть достаточно длинны, долгоживущи, химически активны, способны, подобно белкам, складываться в компактные глобулы и получать энергию извне (например, за счет поглощения УФ-излучения).

Можно думать, что общая тенденция

химических изменений в глобуле вела к ее уплотнению — более плотные глобулы термодинамически более устойчивы. Уплотнению способствует подведение энергии извне, что по чисто кинетическим причинам ускоряет реакции, ведущие к самоуплотнению, а по термодинамическим — делает возможными и обратные реакции, препятствующие образованию слишком плотных глобул.

Благодаря самоуплотнению могла сформироваться способность полимерной глобулы катализировать определенные реакции, подобно современным ферментам — тоже крупным полимерным глобулярным молекулам. Вполне реально, что у части глобул могло сформироваться характерное для ферментов свойство — способность образовывать несколько стабильных пространственных структур (конформаций) с частыми переходами из одной конформации в другую. Возникновение нескольких стабильных конформаций может объясняться самоуплотнением глобулы при переменных внешних условиях; переход между конформациями в первое время мог происходить лишь за счет внешней энергии, необходимой для преодоления энергетического барьера. В дальнейшем нужда в подводимой энергии становилась все меньше и меньше, поскольку механические напряжения при конформационных переходах сглаживались, что снижало энергетический барьер и делало конформационные переходы все более частыми. Так стабилизировалась траектория конформационного перехода.

Проиллюстрируем этот процесс следующей аналогией. Где-то в горах существуют два пастбища, разделенные каменной возвышенностью, по которой овцы могут переходить с одного на другое. Вначале такие путешествия редки, ибо маршрут неудобен, но со временем все же протоптаваются дорожки. Чем чаще миграции, тем сильнее вытаптывается та или иная тропа, тем она удобнее для овец и тем сильнее вытаптывается. Если одну тропу животные используют намного чаще остальных, постепенно она превратится в тропу, которому овцы предпочтут другие дорожки. Наконец, фиксируется фиксированная и почти однозначная траектория миграций — хорошо протоптанная и удобная тропа.

В полном соответствии с принципом ламаркизма «упражнение» тропы овцами делает ее более приспособленной для их миграций. Точно так же «упражнение» полимерной глобулы в конформационных переходах по определенной траектории делает



ее более приспособленной к этим переходам.

Собственно химическое превращение, в котором и заключается смысл ферментативного катализа, можно рассматривать как чисто случайный побочный продукт конформационного перехода; среди многих химических изменений глобулы одно может произойти в нековалентно связанном с ней веществе (субстрате). Энергетический барьер этой реакции окажется низким благодаря сопряженным изменениям в разных частях глобулы.

Конформационные переходы далеко не всех глобул приводили к катализу: одни не могли связывать субстраты, в других субстрат не подвергался химическому изменению. Однако при наличии большого числа разнообразных глобул, у которых сформировались две или несколько стабильных конформаций и фиксированные траектории конформационных переходов, некоторая доля глобул чисто случайно приобретала каталитическую активность.

За счет самоуплотнения могло также улучшаться связывание глобулы с субстратом, поскольку напряжения в глобуле стимулировали химическую активность, направленную на их сглаживание, и т. д. Постепенно возникли две микроконформации: одна со связанным субстратом, другая — без него. Непосредственное соответствие субстрата протоферменту менялось на индуцируемое соответствие (такая схема ферментативного катализа предложена Д. Кошландом более 30 лет назад<sup>1</sup>). Структурное соответствие между глобулой и часто встречающимся свободным субстратом должно было расти, а редко встречающимся — падать.

Это привело к чрезвычайно важному следствию. Продукт той или иной реакции, катализируемой глобулой, мог подвергаться дальнейшим преобразованиям. Накапливаясь, продукт нековалентно присоединялся к различным глобулам, индуцировал в них химические изменения, которые, в свою очередь, способствовали более сильному связыванию продукта, т. е. он становился субстратом для новых глобул и новой серии дальнейших химических преобразований. Формирование цепи реакций продолжалось до тех пор, пока не возникали продукты, которые выводились из реакционной системы: выпадали в осадок, выделялись в виде газа или полимеризовались в новые молекулы. Так, еще до появления клеток могла возникнуть самоорганизующаяся и само-

развивающаяся сеть обмена веществ, порождающая новые типы полимеров. Мысль о важной роли саморазвития катализаторов и каталитических систем в происхождении жизни уже высказана и обоснована советским химиком А. П. Руденко<sup>2</sup>.

Описанные процессы носят физико-химический характер, в них нет ничего биологического, пока лишь формируются предпосылки для будущей биологической эволюции с ее собственными механизмами, которые принципиально отличаются от механизмов предбиологической эволюции. В представленной схеме еще нет ни размножения, ни самокопирования глобул, они синтезируются независимо друг от друга, какое-то время существуют и затем распадаются. Но это не ведет к гибели сформировавшейся сети химических реакций, поскольку одну и ту же функцию в ней выполняют многие глобулы, а уменьшение количества полимеров, трансформирующихся тот или иной субстрат, приводит к росту его концентрации и формированию у новых глобул способности изменять его.

Говоря об эволюции на этой стадии, было бы не совсем правильно иметь в виду отдельно взятую неразмножающуюся глобулу, ее изменения уместнее характеризовать как онтогенез. Эволюционным изменениям подвергалась система в целом, именно в ней возникали новые химические продукты, что влекло за собой синтез новых полимеров с иным химическим строением. Среди таких полимеров со временем оказались полимеры, способные размножаться посредством самокопирования.

В живом мире этим свойством обладают нуклеиновые кислоты, причем синтез копии по матрице не зависит от ее первичной структуры. Если в каком-то участке нуклеиновой кислоты произойдет произвольная замена одного из нескольких нуклеотидов, изменившийся фрагмент точно так же, как исходный, будет воспроизводиться из поколения в поколение. Назовем этот процесс удвоения самокопированием первого рода.

Было бы соблазнительно представить себе глобулы, состоящие из РНК, которые обладали бы и каталитической активностью (сейчас она уже установлена<sup>3</sup>), и способностью к такому самокопированию. Однако глобулы из РНК — это, несомненно, эволюционный тупик. Во-первых, самокопирование

<sup>1</sup> Koshland D. // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 1958. Vol. 44. № 1. P. 98—104.

<sup>2</sup> Руденко А. П. // Журн. Всесоюз. хим. о-ва им. Д. И. Менделеева. 1980. № 4. С. 390—404.

<sup>3</sup> Богданов А. А. Лауреаты Нобелевской премии 1989 года. По химии — Т. Чек и С. Олтман // Природа. 1990. № 1. С. 94—96.

первого рода — ферментативный процесс, а если фермента нет, процесс или маловероятен, или его точность весьма низка. На рассматриваемом этапе ферментов пока нет. Во-вторых, как показывают опыты С. Спигельмана, в бесклеточных системах естественный отбор приводит к деградации длинных молекул РНК при их самокопировании (об этом речь чуть позже). И, в-третьих, неясно, как катализ на основе нуклеиновых кислот мог стать катализом на основе белков, кодируемых этими кислотами.

Автору предлагаемой гипотезы видится другой путь — через образование бинарных глобул — частиц, состоящих из двух химически разнородных полимеров (например, из полинуклеотида и полипептида), способных самостоятельно с большей или меньшей точностью синтезировать свою «зеркальную» копию.

В такой глобуле, как и в двухцепочечной молекуле ДНК, комплементарны обе цепи, но комплементарность могла усиливаться или ослабляться за счет взаимодействия разных участков одной и той же цепи — в плотных глобулах она выражена сильнее. Значит, воспроизводиться должна лишь цепь определенной первичной структуры, такой, которая образует именно плотную глобулу. Видимо, небольшие отклонения от исходной структуры, не нарушающие глобулярность, также могли копироваться, но сильные отклонения вели к разрушению. Назовем тип воспроизводства цепей бинарной глобулы самокопированием второго рода.

На стадии бинарных глобул их первичная структура тоже направленно менялась в процессе самоуплотнения и благодаря этому усиливалась комплементарность цепей. Именно в процессе самоуплотнения формировалась первичная структура, обеспечивающая самокопирование второго рода.

Размножение неизбежно вело к конкуренции между глобулами, успех в которой зависел от кинетических параметров глобул, а не от важной для будущего способности к специфическому катализу. Естественный отбор на этом доклеточном этапе эволюции играл не создающую, а деструктивную роль, создающим механизмом по-прежнему оставалось самоуплотнение.

Деструктивная роль естественного отбора в бесклеточных системах при самокопировании первого рода наглядно показана в экспериментах С. Спигельмана: молекула нуклеиновой кислоты за счет отбора укоротилась в несколько раз<sup>4</sup>. Удивительно, что

некоторые авторы рассматривают результаты опытов Спигельмана как экспериментальное доказательство прогрессивной роли естественного отбора в предбиологической эволюции!

На этом этапе создающая эволюция определяется целиком и полностью «ламарковским» механизмом самоуплотнения. Естественный отбор — лишь досадная помеха, не приносящая, однако, особого вреда, во-первых, из-за того, что самокопирование второго рода всерьез ограничивает варианты первичной структуры, а во-вторых, потому, что «ламарковская» эволюция быстрее «дарвиновской» и обусловленные отбором отклонения от сформировавшихся за счет самоуплотнения структур не отбрасываются, а восстанавливаются.

Итак, возникли достаточно богатая и организованная химическая среда и механизм размножения глобул. Следующим этапом эволюции должно было стать появление клеток.

## СМЕНА МЕХАНИЗМА ЭВОЛЮЦИИ

Допустимо предположить, что глобулы могли случайно соединяться в цепи, а последние случайно замыкаться в кольца. При самоудвоении таких колец образовывались трубочки, которые, вероятно, и были первыми клетками. Такие клетки росли в длину за счет размножения колец бинарных глобул; когда клетка становилась достаточно длинной, она разламывалась и образовывались две дочерние трубочки с полным набором бинарных глобул. (Возможно, кольцевые хромосомы прокариот являются редуцированными остатками стенок первичных клеток.)

Мысль о том, что первые клетки представляли собой трубочки, растущие в длину, а затем разламывающиеся, высказал еще в 1916 г. К. Э. Циолковский<sup>5</sup>. Подобная конструкция (и, по-видимому, только она) изначально обеспечивает синхронность размножения клеток и носителя наследственной информации. После возникновения первых клеток естественный отбор смог сделать механизм прогрессивной эволюции, ибо растворимые продукты, продуцируемые глобулами, перестали обслуживать всех потенциальных конкурентов, перейдя в «собственность» отдельных клеток.

Клетки могли возникнуть на основе бинарных глобул самого разного химического состава. Однако у полинуклеотид-поли-

<sup>4</sup> Spiegelman S. // Quart. Rev. Biophys. 1971. Vol. 4. № 2—3. P. 213—253.

<sup>5</sup> Циолковский К. Э. Собр. соч. М., 1964. Т. 4. С. 122—130.

пептидных глобул было преимущество: полинуклеотид обеспечивал им потенциальную способность к самокопированию первого рода. Это и сделало такие системы основой зарождающейся жизни.

Изменения полинуклеотид-полипептидных систем были направлены на специализацию полинуклеотидной части как хранителя наследственной информации, а полипептидной — как «исполнителя». Для этого цепи бинарных глобул должны были изменить свою первичную структуру так, чтобы потерять непосредственную связь друг с другом.

С 60-х годов молекулярные биологи пытаются выяснить: основывается ли генетический код на структурном соответствии между аминокислотами и тройками нуклеотидов, их кодирующими? Результаты экспериментов и моделирования не дали однозначных ответов: с одной стороны, вроде бы есть некое структурное соответствие, с другой — оно явно недостаточно. Исходя из предлагаемой гипотезы, степень комплементарности аминокислоты тринуклеотиду зависит от третичной структуры глобулы, которая, в свою очередь, определяется первичной структурой в целом. При одних первичных структурах соответствие будет, при других — нет. Именно благодаря отбору первичных структур с большим количеством случайных нарушений связь между полинуклеотидной и полипептидной частями бинарных глобул разрушилась.

Подобные нарушения могли появиться лишь после возникновения нового способа синтеза полипептида — на кодирующем полинуклеотиде, поскольку непосредственная сборка возможна только при жестком соответствии их структур. Если оно исчезало, синтез полипептида мог обеспечиваться механизмом трансляции.

Попробуем представить возможный путь ее возникновения. Одна из частей трансляционного аппарата — комплекс из аминокислоты, транспортной РНК (тРНК) и «узнающего» фермента. Именно в комплексе впервые устанавливается соответствие между аминокислотой и тройкой нуклеотидов. Этот комплекс очень похож на видоизмененную бинарную глобулу: тРНК — это сильно преобразованная полинуклеотидная часть, её фермент — полипептидная часть, а передаваемая аминокислота — концевой мономер полипептида. Известно, что плотная структура одноцепочечного полинуклеотида достигается, как правило, при комплементарности концов. Это позволяет думать, что на одном конце первичных тРНК находился кодон, а на другом — антикодон.

По существующим моделям взаимо-

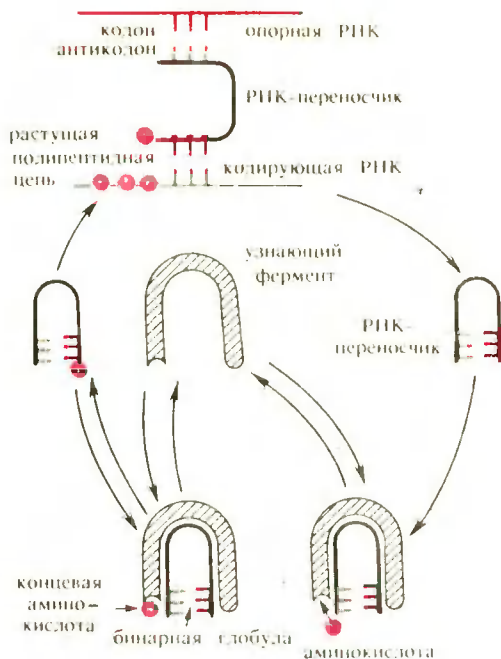


Схема первичной трансляции. Бинарная глобула, состоящая из полинуклеотида (РНК-переносчика) и полипептида (аналога узнающего фермента), распадается на составные части так, что концевая аминокислота полипептида охватывает ее к месту синтеза нового полипептида. Там концевые нуклеотиды РНК-переносчика комплементарно связываются с кодоном опорной РНК (аналогом информационной) и антикодомом кодирующей РНК (аналогом ДНК), доставленная аминокислота включается в растущую цепь. В следующем цикле участвует другая бинарная глобула с другой концевой аминокислотой и т. д.

действия нуклеотидов и аминокислот, структурное соответствие если и существует, то между аминокислотой и антикодомом, а не кодоном. Значит, полинуклеотид бинарной глобулы можно уподобить не цепи информационной РНК (иРНК), а комплементарной ей цепи, которую можно назвать кодирующей РНК (соответствующей современной ДНК). Именно с этой цепью образовывал устойчивый комплекс вновь синтезируемый полипептид. Если вспомнить, что на одном из концов первичной тРНК находится кодон, комплементарный антикодону кодирующей РНК, участие последней в первичной трансляции станет весьма вероятным. По-видимому, именно здесь и возникла основная комплементарная связь между антикодомом и кодоном, и именно здесь присоединилась аминокислота к растущему полипептиду. По существу, первичная трансляция — это передача концевой аминокислоты со сформированной глобулы на растущую.

Когда разрушилась комплементарность полинуклеотид-полипептидных цепей в бинарных глобулах, кодирующая РНК стала помехой и исчезла из трансляции. Потеря комплементарности была революционным событием в развитии жизни на Земле: полинуклеотиды и полипептиды стали самостоятельными.

Это привело к важным последствиям. Во-первых, могло синтезироваться большое количество идентичных полипептидов на один полинуклеотид, хотя фосфор и оставался дефицитным элементом и потому служил фактором отбора, но он не ограничивал синтез полипептидов, поскольку входил (как и сейчас) только в состав нуклеиновых кислот. Во-вторых, стала невозможной «ламарковская» эволюция, связанная с самоуплотнением бинарных глобул. В-третьих, пресеклись самостоятельное размножение отдельных генов (в сложной системе обычно приводящее к катастрофическим последствиям, подобным, например, развитию раковой опухоли) и конкуренция между ними. «Свободноплавающие носители» наследственной информации — белки, став бесплодными, превратились в специализированные рабочие элементы системы. В-четвертых, материалом для естественного отбора стали мутации, которые не смогли бы появиться при жестких ограничениях на первичные структуры в бинарных глобулах. Для эволюции открылись принципиально новые возможности.

Итак, за счет отбора начала постепенно разрушаться комплементарность полипептидной и полинуклеотидной цепей бинарной глобулы, так необходимая на стадии «молекулярного ламаркизма» — самоуплотнения. Стали отбираться любые нарушения устойчивых стандартных структур, формирующих бинарную глобулу, но не снижающие (существенно) ферментативную активность. Этот этап можно назвать стохастизацией наследственного материала.

Таким образом, биологической эволюции, которая основывается на неопределенной наследственной изменчивости и естественном отборе, предшествовала эволюция, предопределенная физико-химическими законами направленной изменчивости без естественного отбора. На доклеточном этапе естественный отбор действовал как разрушитель, расчищая почву для будущего созидания.

## БЛАГОПРИБОРИТЕННЫЕ ПРИЗНАКИ ПЕРЕСТАЛИ НАСЛЕДОВАТЬСЯ

Современные носители наследственной информации — нуклеиновые кислоты — подобны магнитным лентам, их макроскопические свойства не зависят от содержания записи. Молекулярные биологи считают это свойство само собой разумеющимся и изначальным. Но вряд ли это так. Реализовать информацию с магнитной ленты можно лишь с помощью магнитофона; точно так же наследственная информация современного типа реализуется благодаря хитроумным внутриклеточным устройствам. Предполагается, что они сформированы естественным отбором наиболее приспособленных генотипов. Но как может отбираться информация, которую невозможно прочесть? Не правильно разве отказаться от мысли, что молекулы нуклеиновых кислот всегда только хранили информацию? В предбиологическом мире они были рабочей частью функционирующих элементов, которые взаимодействовали со средой и менялись под ее воздействием.

На новом этапе эволюции независимость макроскопических свойств полинуклеотида от содержания информации сделала мутации случайными. Отныне любая из них получала шанс пройти испытание естественным отбором. «Свобода мутаций» явилась важнейшей предпосылкой для дальнейшей прогрессивной эволюции.

Наследование «благоприобретенных признаков» на молекулярном уровне бесследно исчезло, поскольку любые его формы связаны с самостоятельным размножением отдельных носителей наследственной информации внутри клетки. Такое размножение приводит к гибели клетки, что мы и наблюдаем при вирусных инфекциях. По существу, это аналогично гибели многоклеточного организма от раковой опухоли.

Таким образом, можно выделить два скачка в формировании жизни: первый — появление полимерных глобул, способных к самоуплотнению и «ламарковской» эволюции, второй — возникновение «свободы мутаций» и прогрессивной эволюции путем естественного отбора. Этот второй скачок мы и можем считать появлением жизни.

# С. Э. Шноль **Хватает ли времени для дарвиновской эволюции?**

Памяти Н. В. Тимофеева-Ресовского



Симон Эльевич Шноль, доктор биологических наук, заведующий лабораторией физико-математической биохимии Института биологической физики АН СССР (Пущино, Моск. обл.), профессор кафедры биофизики физического факультета МГУ. Область научных интересов — колебательные процессы в биологических системах, космофизическое влияние на биологические процессы, теория эволюции.

**М**НОГИЕ десятилетия обсуждается проблема происхождения жизни, гипотезы и теоретические построения сочетаются с экспериментами по абиогенному синтезу характерных для живых организмов веществ — аминокислот, нуклеиновых оснований и т. п. И почти всегда остается неясность — что такое жизнь, с какого момента допустимо сказать «живое». Может, отказаться от схоластических упражнений в построении определений и основываться на интуиции — мы ведь и так, без четких определений, знаем, о чем идет речь, когда говорим «живое»?

Парадоксальность ситуации, когда не определен предмет («жизнь», «живое») це-

лой науки — биологии, рассмотрел Э.С.Бауэр в 1935 г. В 1960—1961 гг. Н.В.Тимофеев-Ресовский, излагая в лекциях свой принцип конвариантной редупликации, ответил на этот, основной для теоретической биологии, вопрос: с момента возникновения молекул, способных к конвариантной редупликации (возникновение и сохранение вариантов в ходе воспроизведения), начинается биологическая эволюция. Отсюда следовало, что такие молекулы — объекты биологической эволюции, т. е. живые. Эти слова поразили меня настолько, что я воспринял их как выражение своих собственных мыслей, и, только написав в развитие этих положений книгу «Физико-химические факторы биологической эволюции» (М., 1979), вспомнил и нашел соответствующее место в конспекте лекций Тимофеева-Ресовского.

В самом деле, если в силу физико-химических закономерностей появляются молекулы, способные к «матричному воспроизведению» (выражение Н. К. Кольцова), которое приводит к размножению любых вариантов последовательностей мономеров, т. е. конвариантно, то начинается естественный отбор по признаку кинетического совершенства — в конкуренции за «пищу» (мономеры и т. п.), энергию, пространство. Этот процесс автоматически, но строго закономерно приводит к отбору все более совершенных мутантов. Траектории биологической эволюции на первых этапах жестко детерминированы физико-химическими факторами, в дальнейшем же естественный отбор идет по специфическим биологическим факторам (способ размножения, поведение, структура популяций и биоценозов). Однако никаких новых идей, сравнимых по значимости с конвариантной редупликацией, для биологической эволюции (от молекул до человека) не требуется — она совершается с закономерной неизбежностью.

Такая трактовка биологической эволюции подчеркивает продуктивность концепции стохастического детерминизма: случайные

мутации (дарвиновская неопределенная изменчивость) в результате естественного отбора по признаку все большего совершенства приводят к строго закономерным результатам. Таким образом, дарвиновская эволюция закономерна, хотя многие противопоставляют ей другую закономерную эволюцию — номогенез Л.С.Берга. Долгие годы концепция детерминированности биологической эволюции считалась (особенно физиками и математиками) наивной: число возможных вариантов молекул бесконечно, поэтому выбрать лучший невозможно, а следовательно, невозможно и закономерная эволюция. Иными словами, начав сначала, мы получили бы совершенно непредсказуемые результаты, а все, что мы видим на Земле — от вирусов и бактерий до человека — уникальная, счастливая (?) случайность.

Итак, проблема происхождения жизни, в сущности, сводится к простому вопросу: хватает ли времени существования Земли для естественного отбора и закономерной эволюции? Конечно, не хватило бы, если бы перебирались все возможные варианты, скажем, наследственного текста длиной  $N$  букв при 4-буквенном алфавите, чтобы от молекул перейти к человеку, в геноме которого  $N \cong \cong 10^9$ , т. е. число вариантов составляет  $10^{10^9}$ . Числа, превышающие  $10^{100}$ , не имеют смысла — они больше количества частиц во Вселенной. Со времени Большого взрыва (по свидетельству очевидцев) прошло всего около  $10^{17}$  с, а только на образование матричных копий и отбор наиболее приспособленных для дальнейших реакций молекул требуется время порядка секунды. Таким образом, перебор всех вариантов невозможен, и тем не менее жизнь на Земле существует около 3,5 млрд лет. Видимо, она зарождалась по-иному.

Попробуем отыскать механизм возникновения наследственных текстов через лингвистические. Верно, что текст поэмы в  $10^5$  букв при 32-буквенном алфавите нельзя написать, случайно перебирая сочетания букв, поскольку число их вариантов составит  $32^{10^5} \sim 10^{1,5 \cdot 10^5}$ . Как же через недолгое время после зарождения языка удастся выразить прозаические и сложные мысли? Сначала образуются и «шлифуются» естественным отбором» относительно простые слова и правила грамматики: отбираются универсальные части слов — префиксы и суффиксы, предлоги, падежные окончания и т. п. Из них строятся все более сложные конструкции. Этот-то принцип блочно-иерархического совершенствования и позволяет написать поэму.

Так же поступают и инженеры, создавая новый прибор,— модифицируют один или несколько блоков предыдущей конструкции, не затрагивая по возможности остальные.

Блочное совершенствование генетического текста, видимо, обеспечило и краткость биологической эволюции<sup>1</sup>.

Рассмотрим блочную схему совершенствования той же предполагаемой поэмы. Допустим, спонтанно образовались лишь короткие 5-буквенные слова, из которых выбираются, например, 20 наиболее совершенных. Выбрать их по какому-либо критерию из общего количества ( $4^5=1024$ ) можно за весьма короткое время  $T_1=\tau \cdot 1024$ , где  $\tau$  — время одного испытания. Теперь, чтобы составить из 20 слов все возможные фразы по пять слов в каждой, нужно перебрать  $20^5 \sim \sim 3 \cdot 10^6$  сочетаний. Следуя этому же правилу, выбираем из них 20 наилучших и составляем строфы — по пять фраз; из 20 самых удачных — поэму, т. е. этап за этапом совершенствуем текст. А если что-нибудь и окажется недостаточно совершенным на более высоких иерархических уровнях, будем менять лишь отдельные блоки, но не комбинировать текст заново.

Естественный отбор тоже возможен лишь по блочно-иерархическому принципу. Если для сплошного перебора требуется время  $T_0=\tau R^N$  ( $R$  — число букв в генетическом алфавите,  $N$  — длина текста), то при блочно-иерархическом отборе =

$$T=\tau \frac{\ln N}{\ln n} R^n$$

( $n$  — число букв в блоках). Эволюционный процесс ускоряется при этом в  $\frac{1}{j} R^{N-N'/j}$

раз ( $j$  — число блоков разного уровня). Отсюда можно оценить оптимальное число этапов  $j_{\text{опт}}$  для достижения предельного совершенства за наименьшее время:

$$j_{\text{опт}}=N^{1/j_{\text{опт}}} \ln R \ln N$$

При  $N=1000$ ,  $R=20$   $j_{\text{опт}}$  равно 27. Итак, если при сплошном переборе необходимо огромное время  $T_0=\tau 20^{1000}$ , то при блочном принципе естественного отбора для  $n=5$  необходимо всего:

$$T=\tau \frac{\ln 1000}{\ln 5} 20^5 \approx \tau 10^7.$$

Если даже длина генетического текста уве-

<sup>1</sup> Шноль С. Э., Есипова Н. Г., Абабян Р. А., Иваницкий Г. Р. // Биофизика. 1985. Т. 30. С. 418—421.



личится до  $N=10^{10}$ , время блочного отбора возрастет всего в 10 раз:

$$T = \tau \frac{\ln 10^{10}}{\ln 5} 20^5 \approx \tau 10^8.$$

Иначе говоря, почти за одно и то же время по блочно-иерархическому принципу отбираются тексты для вируса ( $N=10^3$ ) и человека ( $N=10^{10}$ ). Действительные различия длительности эволюции определяют, следовательно, совсем другие причины.

Итак, если естественный отбор осуществляется по блочно-иерархическому принципу, скорость эволюционного совершенствования столь велика, что не она ограничивает направление эволюционных траекторий. Тогда правомерно прибегнуть к «термодинамическому образу мыслей», учитывая лишь начальные и конечные — предельно совершенные (равновесные, стационарные) — состояния эволюционирующей системы. Но прежде нужно понять, реален ли блочно-иерархический принцип отбора. Вполне реален, если зависит от функциональной значимости различных сочетаний букв (мономеров) в блоке очередного иерархического уровня. Например, на первом уровне скорость разномержения молекул, состоящих, скажем, из пяти нуклеотидов, должна зависеть от их последовательности.

Вообще, матричные полимерные молекулы становятся объектом естественного отбора лишь при условии, что скорость их репликации (размножения) связана с последовательностью образующих их мономеров и если при этом ограничены ресурсы «пищи» (мономеров), доступное пространство, интенсивность потока необходимой для полимеризации энергии. Материалом для отбора служат мутанты — случайные изменения текстов, приводящие к образованию различных вариантов матриц, затравок для последующей репликации, кристаллизации. Критерий отбора, а тем самым и фактор эволюции — конечное кинетическое совершенство, т. е. итоговая скорость увеличения массы или числа молекул данного варианта.

В таких условиях матричные, конвариантно реплицирующиеся молекулы под давлением отбора эволюционируют в направлении все большего кинетического совершенства. И далее, через ряд последовательных этапов, отличающихся физико-химическими, а затем и биологическими критериями естественного отбора, развивающаяся система строго детерминированно, т. е. по закономерным, а не случайным траекториям, продвигается от молекул к

человеку. Нигде на этом пути ей не нужны новые принципы — система сама, под действием естественного отбора поднимается все выше по ступеням (этапам) кинетического (биологического) совершенства<sup>2</sup>.

Так зависят ли кинетические свойства, например скорость матричных синтезов, от последовательности мономеров в коротких полимерных цепях? Строгого, основанного на экспериментальных данных ответа все еще нет. Мы не знаем даже химическую природу начальных молекул-матриц. По многим соображениям, ими могли быть спонтанно возникающие короткие полирибонуклеотиды — РНК. Тогда вопрос ставится несколько иначе: зависят ли каталитические свойства, способность ускорять матричную репликацию полимерных цепей РНК от последовательности нуклеиновых оснований?

Любопытно, что каталитические свойства РНК до недавнего времени не были доказаны. Мы постулировали каталитическую активность РНК в 1979 г., за три года до ее экспериментального обнаружения<sup>3</sup>, и ее отличия у полирибонуклеотидов с разной последовательностью мономеров (сейчас это доказано в экспериментах лауреатом Нобелевской премии 1989 г. Т. Чеком). Кроме того, реальность блочного принципа естественного отбора представляется очевидной и потому, что половая рекомбинация, кроссинговер, трансдукция и тому подобные процессы являются, в сущности, перетасовкой готовых блоков-генов. Этот принцип проявляется также в экзонно-интронной структуре генов зукариот (ее эволюционный смысл отмечен У. Гилбертом более 10 лет назад<sup>4</sup>).

Амплификация — увеличение числа однотипных генов-блоков, их мутационная модификация и перетасовка — все это иллюстрации блочного принципа, залог ускоренного движения по детерминированным «условиями решаемых задач» эволюционным траекториям. Поэтому наиболее интересным и важным остается вопрос о блочном принципе первых этапов биологической эволюции, этапов, приведших к созданию универсального фундамента жизни — биохимических, биофизических, физиологических

<sup>2</sup> Шноль С. Э. О полной детерминированности биологических эволюционных траекторий или о предельном совершенстве, достигаемом в ходе естественного отбора за реально малые длительности времени (по воспоминаниям о дискуссиях с Н. В. Тимофеевым-Ресовским) // Онтогенез. Эволюция. Биосфера. М., 1989. С. 215—222.

<sup>3</sup> Kruger K., Grabowsky P. J., Zang A. J. et al. // Cell. 1982. Vol. 31. P. 147—157.

<sup>4</sup> Gilbert W. // Nature. 1978. Vol. 271. P. 501—504.

процессов в клетке. Здесь может помочь испытанный метод — поиск следов прошлого в ныне «живущих» молекулах, своеобразная молекулярная палеонтология.

В самом деле, если эволюция начиналась с отбора коротких матричных молекул, а потом эти отобранные «слова» комбинировались во «фразы» и т. д., можно попытаться найти эти слова в наследственных текстах современных организмов. Поиск таких блоков в полинуклеотидных и полипептидных текстах осуществляется в настоящее время в ряде лабораторий, короткие ( $n=5$ ) универсальные блоки обнаружены в самое последнее время.

Из представленной картины ясен глубокий смысл высказываний Тимофеева-Ресовского о принципе конвариантной редупликации, сущности биологической эволюции, происхождении жизни. Начало жизни, ее происхождение — это и есть возникновение (в силу физико-химических причин) матричных, конвариантно реплицирующихся молекул. Далее, под давлением естественного отбора автоматически идет биологическая эволюция. О начальных ее этапах Николай Владимирович со свойственной ему иронией говорил: «Я был тогда маленьким и не помню — спросите у Опарина, он знает...»

## ИНФОРМАЦИЯ

### ОБЩЕСТВО ПО ИЗУЧЕНИЮ ТАИН И ЗАГАДОК ЗЕМЛИ

при Учебно-научно-издательском объединении Центра научно-технической деятельности, исследований и социальных инициатив АН СССР,

объединяющее советских и зарубежных геологов, географов, биологов, экологов, археологов, историков, этнографов, лингвистов, занимается изучением:

- катастрофических событий фанерозоя и четвертичного периода,
- взаимодействия Земли и космоса,
- динамики захоронения промышленных и радиоактивных отходов,
- следов (геологических, археологических, исторических) палеоцивилизаций,
- древних рукописей и мифов,
- миграций и переселений народов,
- палеоконтактов,
- реликтовых и неизвестных науке животных и т. д.



ОБЩЕСТВО проводит на договорной основе поиск полезных ископаемых и подземных вод, археологические раскопки на суше и дне моря, исследования по экологии, прогнозу сейсмической опасности с использованием ме-

тодов биоэнергетики и ясновидения.

Желающие стать членами ОБЩЕСТВА или его спонсорами, заказать какие-либо работы, кино- и фотопродукцию, выслать экспонаты и материалы о встре-

чах с необычным могут обратиться по адресу:

117804, Москва, ул. Кедрова, 8, кор. 3, УНИО, «Общество по изучению тайн и загадок Земли». Телекс: 411700 UNIO. Телефакс 2002216 UNIO.

**Ю. Д. Дядькин****Геотермальная энергия**

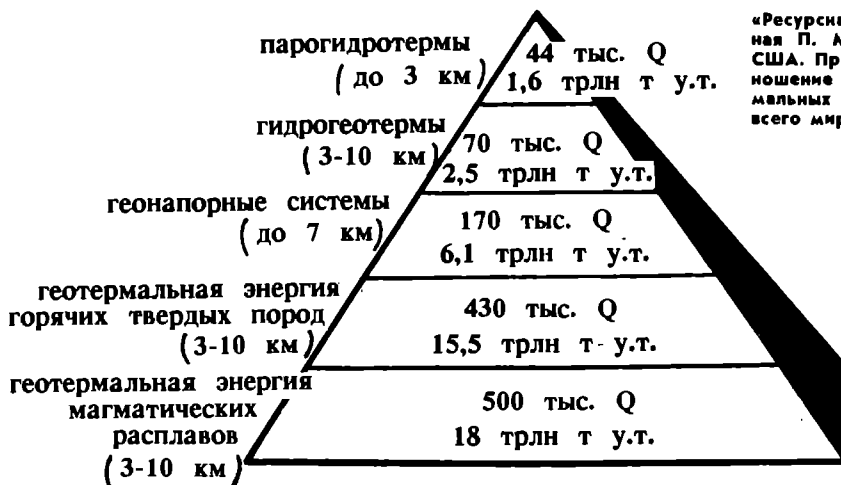
Юрий Дмитриевич Дядькин, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой разработки рудных месторождений и горной теплофизики Ленинградского горного института. Специалист по теплофизическим аспектам освоения недр, разработке геотермальных месторождений. Заслуженный деятель науки и техники РСФСР. Президент Советской геотермальной ассоциации.

**П**ОИСК и освоение новых источников энергии — одна из глобальных проблем современности. При многообразии представлений об энергетике будущего бесспорно доминирует тенденция всемерной экономии ископаемого топлива с учетом его неизбежного удорожания, дефицита и экологических трудностей добычи и использования. Общепризнана и необходимость сочетать разные виды топлива с другими источниками энергии в будущем энергобалансе. Наряду с энергией солнца и ветра, термоядерного синтеза и биомассы немалая доля в этом балансе придется на геотермальную энергию.

Каковы ее ресурсы, исторический опыт использования и современный вклад в энергобаланс? Каковы технологические, экологические и экономические условия освоения тепловой энергии недр? Почему в «энергетической полемике» и журналисты, и специалисты нередко упускают из виду возможности геотермальной энергии? Эти взаимосвязанные вопросы не столь уж просты. Но если отложить на время их серьезное рассмотрение и «начать с конца», ответы можно сформулировать в виде нескольких тезисов.

Геотермальные ресурсы огромны. Истоки их освоения уходят в глубокую древность. Реальный вклад тепла Земли в мировую энергетику уже сегодня существен, но явно не соответствует ни экономической и экологической эффективности, ни ресурсам, пригодным для освоения имеющимися техническими средствами. По-настоящему широкие перспективы геотермальной энергетики откроются только после завершения работ над новой, достаточно универсальной и интенсивной циркуляционной технологией. Рано или поздно «три кита» энергетики станут Солнце, тепло Земли и термоядерный синтез.

Такова авторская позиция. А теперь, выразив ее, можно перейти к обоснованию.



«Ресурсная пирамида», построенная П. Маффлером для условий США. Представленное здесь соотношение разных категорий геотермальных ресурсов характерно для всего мира.

### ПАРОГИДРОТЕРМЫ: ПЕРВАЯ СТУПЕНЬ ОСВОЕНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ

При огромной массе планеты и высокой температуре ее недр общее теплосодержание Земли столь велико, что потенциальные ресурсы геотермальной энергии можно считать практически неисчерпаемыми. Например, другому мощному источнику энергии — Солнцу потребуется более 40 млн лет, чтобы подарить Земле такое количество теплоты, которое уже аккумулировано в ее недрах (даже без учета продолжающейся в земных недрах генерации тепла, превосходящей его потери в космическое пространство).

Сложнее оценить, какую долю геотермального потенциала можно использовать. При единой природе геотермальной энергии ее ресурсы делятся по условиям аккумуляции в недрах и возможным технологическим принципам извлечения на две далеко не равные части: гидрогеотермальные и петрогеотермальные<sup>1</sup>. Первые представляют собой пригодную для извлечения и использования долю теплосодержания природных флюидов, пронизывающих поры и трещины массивов горных пород. Они образуют верхние слои «ресурсной пирамиды», построенной П. Маффлером для США<sup>2</sup>, и превышают солидные топливные ресурсы этой страны.

Наиболее ценны указанные в самой вершине пирамиды парогидротермы. Эти самоизливающиеся источники природного пара и пароводяных смесей древний человек оценил, вероятно, раньше, чем научился поддерживать огонь, а в бронзовом веке,

судя по археологическим данным, успешно использовал их для приготовления пищи, в лечебных, бытовых и ритуальных целях.

В Лардерелло, на севере Италии, в Геотермальном музее хранится сочинение Тита Лукреция «О природе вещей» (I в.), в котором описаны парогидротермы Тосканы, а также технология получения на их основе борной кислоты, разработанная еще древними этрусками, населявшими этот район в VII в. до н. э. В музее можно увидеть и примитивное долото, которым в 1928 г. пробурили первую геотермальную скважину. Именно с нее началась добыча природных теплоносителей, сменившая простое их собирание с помощью колодцев, бассейнов и каналов. Скважины нарушили баланс энергии и массы природных гидрогеологических систем: дебит геотермального фонтана возрос во много раз, но при этом естественный источник перестал быть «вечным». Возобновляемые гидрогеотермальные ресурсы стали источаемыми.

В 1904 г. там же, в районе Лардерелло, Дж. Конти впервые получил электроэнергию на основе природного пара. В 1913 г. здесь создана экспериментальная установка на 250 кВт, в 1916 г. построена первая в мире геотермальная станция «Лардерелло-1» мощностью 12 МВт, которая и в настоящее время продолжает без каких-либо вредных воздействий на окружающую среду вырабатывать самую дешевую электроэнергию<sup>3</sup>. Мощность геотермальных станций (геоТЭС) в Италии быстро росла, и в 1983 г. суммарная мощность 39 их энергоблоков достигла 456 МВт.

<sup>1</sup> Подробнее см.: Дядькин Ю. Д. Разработка геотермальных месторождений. М., 1989.

<sup>2</sup> Muffler P. Geothermal Systems: Principles and Case Histories. N. Y., 1981.

Handbook of Geothermal Energy / Ed. Edwards L. M. Houston, 1982.

В наиболее освоенном Тосканском районе Италии коллекторы сухого пара залегают близко к поверхности — на глубине около 1 км. Скважины обеспечивают здесь средний дебит пара 24 т/ч при температуре 185 °С. Ресурс турбин достигает 50 тыс. ч. Чтобы избежать его сокращения из-за агрессивности газов, в паропроводы впрыскивают ингибитор NaOH. Для защиты окружающей среды от агрессивного конденсата с 1974 г. вместо очистки и последующего сброса в водоемы его закачивают обратно в породы-коллекторы. Максимальный срок службы скважин — 30 лет. Себестоимость 1 кВт·ч составляет 47 лир (против 54 — для АЭС и 74 — для ТЭС на жидком топливе).

С 1924 г. началось создание геотЭС в Японии. В 1950 г. пущены первые геотЭС в Новой Зеландии и Мексике, в 1960 г. — в США, которые уже через 13 лет обогнали Италию и стали лидерами в освоении тепловой энергии недр. Мощность американских геотЭС превышает сейчас 2,2 ГВт, на США и Филиппины приходится половина продукции всех геотермальных электростанций мира (общая мощность около 6 млн кВт).

Крупнейшее в мире месторождение сухого пара Гейзеры в Калифорнии было открыто еще в середине прошлого века. Его разведка началась в 1922 г., а в 1925 г. английский инженер, изобретатель паровой турбины Ч. Ларсон провел здесь ее испытания, получив электричество. В 1960 г. построена первая американская геотЭС мощностью 12,5 МВт. В 1978 г. суммарная мощность действующих здесь геотЭС приблизилась к 1 млн кВт. Общие капиталовложения в освоение этого месторождения составили почти 125 млн долл., но благодаря высокой продуктивности здешних скважин и низкой себестоимости производимой электроэнергии (0,3 цента за 1 кВт·ч) компания «Юнион ойл», эксплуатирующая это месторождение, ежегодно получает 6,1 млн долл. прибыли (120 долл. в сутки от каждой скважины)<sup>4</sup>.

В настоящее время геотЭС мощностью более 2 ГВт вместе с ветровыми электростанциями (860 МВт — 90 % мощности всех ветроэлектростанций мира), солнечными электростанциями на фотопреобразователях (11 МВт),

<sup>4</sup> Ibid.

#### Геотермальные электростанции мира (данные 1988 г.)

Страна	Год пуска первой геотЭС	Число энергоблоков	Мощность геотЭС, МВт	
			действующих	строящихся
Италия	1913	42	504,2	555
Новая Зеландия	1958	10	167,2	116
США	1960	96	2409	1222
Япония	1966	9	237,1	167
СССР	1967	1	11	80
Исландия	1969	5	39	—
Китай	1970	15	15	50
Мексика	1973	16	655	370
Турция	1974	1	20,5	12
Сальвадор	1975	3	95	350
Филиппины	1977	23	894	1967,5
Индонезия	1979	5	142	275
Португалия (Азорские о-ва)	1979	1	3	10
Кения	1981	3	45	50
Никарагуа	1982	2	35	35
Франция (Гваделупа)	1983	1	4,2	55
Греция	1985	1	2	15
Австралия	1987	2	1	—
Аргентина	1988	1	0,6	10
Чили				15
Гватемала				55
Коста-Рика				55
Гондурас				50
Санта-Лусия				25
Индия				1
Румыния				1
Итого		236	5278,5	5530,5

## Экономические и экологические показатели электростанций разных типов\*

Типы электростанций	Удельные капиталовложения, долл./кВт	Себестоимость, цент/кВт·ч	Отчуждение земельных угодий м <sup>2</sup> /кВт
<b>Геотермальные:</b>			
природный пар (250 °С)	300	2,1	15
перегретая вода — бинарный цикл (150 °С)	до 850	5,1	18,2
горячие породы — геоциркуляционные системы (250 °С)	до 950	6,8	20,0
<b>Топливные:</b>			
уголь (20 долл./т)	600	2,9	16,2
мазут (30 долл./баррель)	800	6,3	12,2
сланцы, битумы	1450	5,8	16,2
биомасса	1100	9,5	2630
<b>Атомные:</b>			
на тепловых нейтронах	1250	3,4	8,1
на быстрых нейтронах	1500	4,4	8,1
<b>Солнечные:</b>			
на фотоэлементах	2000	11,5	80,1
термодинамические	2650	9,3	80,1
<b>Ветровые</b>			
	1850	4,8—7,0	324
<b>Гидравлические:</b>			
ГЭС	2000	1,1	100
приливные	2500	20	0

\* По данным EPRI (Energy Power Research Institute — Институт по изучению энергоресурсов) 1979, 1987 гг.

гидроэлектростанциями (850 МВт) и электростанциями на биогазе (339 МВт) обеспечивают энергией 1,8 млн жителей, покрывая 10 % всех потребностей Калифорнии. К 1996 г. долю нетрадиционных источников энергии предполагается<sup>5</sup> довести здесь до 25 %.

Пример Калифорнии подтверждает эффективность освоения геотермальной энергии, но отнюдь не дает оснований считать ее каким-то «бесплатным даром природы», напротив, этот пример показывает необходимость значительных капиталовложений, терпеливого и настойчивого накопления опыта. Так, при использовании японского оборудования и опыта новозеландских специалистов Филиппинам удалось получить рекордный результат: после пуска в 1977 г. опытной геотЭС на 3 МВт уже в 1980 г. страна вышла на второе место в мире по суммарной мощности геотЭС (446 МВт) и получила от них прибыль 176 млн долл. Своеобразным «отрицательным рекордом» стало освоение парогидротерм Камчатки: Паужетская опытная геотЭС мощностью 5 МВт была пущена в 1967 г., а «долгострой» на более крупной Мутновской геотЭС длится уже вторую пятилетку (разведка начата еще в 1978 г.) при

остром дефиците технических средств и опыта...

Особую ценность месторождениям природного пара придает их в общем-то небольшая распространенность. Все они приурочены к термоаномалиям вулканических областей и рифтовых зон, т. е. к «горячим точкам» планеты, которых насчитывается около 200. Конвективный вынос геотермальной энергии в этих районах, по оценке А. А. Смыслова и др.<sup>6</sup>, составляет примерно 300 ГВт (около 3 % суммарной мощности энергетических установок мира). В нашей стране парогидротермы распространены лишь на Камчатке и Курильских о-вах. Возможности будущих геотЭС намного превосходят потребности этих районов в энергии, и удовлетворять их за счет дорогого привозного топлива неразумно.

## ГИДРОГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ

Гораздо шире, чем парогидротермы, представлены термальные воды с температурой до 100—150 °С, непригодные для электроэнергетики. Эти гидрогеотермы издавна применялись для отопления жилищ и в бальнеологических целях.

<sup>5</sup> Energy Spectrum. 1989. № 6; см. также: РЖ ВИНТИ. Вып. 90. Рэф. 1.90.6.

<sup>6</sup> Смыслов А. А., Моисеенко У. И., Чадович Т. З. Тепловой режим и радиоактивность Земли. Л., 1979.



Наиболее благоприятны для освоения трещинные коллекторы пресных термальных вод с глубинным питанием, приуроченные к тем же районам активного вулканизма, что и парогидротермы. Классический пример — месторождения Исландии, на освоение которых, начиная с 1928 г., потребовалось почти 30 лет. В 1957 г. вступила в строй первая в мире крупная система геотермального теплоснабжения: 92 скважины глубиной от 300 до 2200 м самопроизвольным изливом давали 2570 м<sup>3</sup>/ч почти пресной воды с температурой от 87 до 114 °С. По проложенной под шоссе теплотрассе длиной более 20 км эта горячая река принесла тепло в жилые и общественные здания, теплицы, оранжереи, на промышленные предприятия Рейкьявика и прилегающих районов. Обходится это тепло в 5 раз дешевле полученного другими способами. Рейкьявик стал первой чистой столицей — без топливных установок и дымовых труб. В 1982 г. тепловая мощность геотермальных систем Исландии составила 580 МВт, что равносильно ежегодному сжиганию 300 тыс. т у. т.

Пластовые геотермальные коллекторы также обладают необходимым для самоизлива избыточным напором вод, нагретых в более глубоких горизонтах предгорных и межгорных впадин. Такие месторождения распространены в районах с большой мощностью осадочного чехла и повышенным геотермическим градиентом. Для термальных вод этого типа характерна высокая минерализация, усложняющая их использование. Неглубокие пластовые коллекторы высокотемпературных пресных вод особенно

удобны для освоения, но они встречаются редко. Тем не менее в нашей стране основной вклад в геотермальное теплоснабжение вносят именно слабоминерализованные воды с температурой около 100 °С, фонтанирующие на черноморском побережье Грузии, в Чечено-Ингушетии, Дагестане и ряде других районов. Ждут освоения пресные термальные воды на юге Казахстана.

Однако основная часть гидрогеотермальных ресурсов, как в СССР, так и в других странах, связана с глубокими артезианскими бассейнами, т. е. с геонапорными системами, занимающими средний этаж в «ресурсной пирамиде». Воды этого типа нагреты до температуры вмещающего их массива пород, которая определяется глубиной и геотермическим градиентом. В нашей стране это прежде всего Западно-Сибирский артезианский бассейн, обширные ресурсы которого — воды различной минерализации с температурой от 50 до 110 °С, залегающие на глубине 1—3 км, — используются очень мало.

Успешно осваивается лишь Верхне-Паннонский артезианский бассейн в Венгрии. Его условия более благоприятны: пресные термальные воды с температурой от 85 до 99 °С приурочены к хорошо проницаемой (примерно 1 дарси=10<sup>-12</sup> м<sup>2</sup>) толще пород на глубине около 2 км. Первые геотермальные скважины пробурены здесь еще в 1868 г., и некоторые из них фонтанируют уже более 100 лет. Осваивать этот бассейн начали в 1958 г., а к 1970 г. в Венгрии эксплуатировалось уже 80 установок общей мощностью 470 МВт, которые снабжали термальной водой десятки животноводческих ферм,

**Сферы прямого использования геотермальных теплоносителей (кроме энергетики) и тепловая мощность установок, МВт**

Страна	Отопление	Сельское хозяйство	Промышленность	Бальнеология	Комбинированное использование	Всего
Япония	50	31	9	4394		4484
Венгрия	75	565	30	581	280	1540
Исландия	780	77	75	200	164	1305
СССР	140	395	20	300		915
Италия	107	50	27	376		566
Новая Зеландия	50	10	165			226
США	87	10	12	4	106	225
Китай	70	60.	14	17		180
Франция	105	15				180
Чехо-Словакия	25	10		8		43
Румыния	27	9				36
Югославия	14					14
Австрия	2			3		5
Другие страны	33	56	17	248	1	355
Итого	1625	1300	370	6200	755	10 260

теплично-парниковые комбинаты площадью 40 га, 1200 квартир в Сегеде, 41 плавательный бассейн в Будапеште. В 1985 г. венгерские геотермальные системы включали 655 скважин, из них более половины (366 МВт) работали на сельское хозяйство. Себестоимость геотермальной энергии в Венгрии — 150 форинтов за 1 Гкал (против 550 форинтов в топливной энергетике).

Значительная часть геотермальных ресурсов США сосредоточена на побережье Мексиканского залива. Здесь на территории штатов Техас и Луизиана, а также мексиканского штата Тамаулинас на глубинах от 2 до 7 км залегают высокоминерализованные воды с температурой до 200 °С и давлением до 82 МПа (на 5—10 МПа больше гидростатического). В 1 м<sup>3</sup> этих вод содержится до 5,2 м<sup>3</sup> метана. На базе первых скважин, пробуренных в этом районе, предполагается испытать «гибридную» электростанцию с тремя типами турбин: паровой, газовой и гидравлической. Общий объем геотермального рассола здесь оценивается в 1,4 млрд м<sup>3</sup>, а энергетический потенциал — в 33 млрд т у. т.

Парогидротермы и самоизливающиеся термальные воды используются примерно в 60 странах мира. Однако длительный опыт применения простейшей фонтанной технологии выявил множество проблем, сдерживающих освоение природных теплоносителей. Выбросы вредных газов, коррозия оборудования, огромное количество высокоминерализованных отработанных вод, отложение солей в скважинах, оседание земной поверхности, удаленность месторождений от потребителей, малый дебит самоизлива, ограничивающий эффективность фонтанной технологии, неполное использование температурного потенциала добытого теплоносителя — вот далеко не полный перечень нерешенных вопросов.

Справиться с большей частью проблем позволила реинжекция — возврат отработанных потоков обратно в коллектор. Но при этом часть скважин становятся нагнетательными, объем продукции сокращается, требуются насосы и дополнительные затраты энергии — экономические ограничения ужесточаются. Вообще, реинжекция эффективна лишь при резком увеличении дебита скважин, насосной добыче, т. е. при переходе к циркуляции, которую мы рассмотрим несколько позже.

В 1967 г. на Камчатке создали первую в мире энергоустановку с бинарным циклом: термальная вода Паратунского месторождения с температурой 78 °С нагревала жидкий фреон, его пары поступали в турбину и вырабатывали электроэнергию. К сожалению,

наши энергетики не продолжили эти работы, а за рубежом — в США, Японии и ряде других стран — геотЭС с бинарным циклом рассматриваются сейчас как реальный путь к освоению крупных ресурсов высокотемпературных (до 200—250 °С) рассолов. В США уже испытано несколько опытных бинарных геотЭС, первой промышленной установкой такого типа будет геотЭС Хебер мощностью 70 МВт, причем мощность ее может быть увеличена до 500 МВт.

В освоении природных теплоносителей есть и другие резервы. По долгосрочному прогнозу Лос-Аламосской национальной лаборатории (ЛАНЛ) США, гидрогеотермальная энергетика по вкладу в мировой энергобаланс в начале будущего века превзойдет нефть, а через 100—150 лет и уголь<sup>7</sup>.

В нашей стране серьезное освоение гидрогеотермальных ресурсов, по существу, еще не началось. Динамические ресурсы термальных вод СССР составляют более 1 млн м<sup>3</sup>/сут, а подсчитанные и уже утвержденные их запасы — 222 тыс. м<sup>3</sup>/сут и 33 тыс. т/сут пароводяных смесей<sup>8</sup>. За 1982 г. 210 скважин на 42 геотермальных месторождениях страны дали 51 млн м<sup>3</sup> природных теплоносителей. В 1989 г. общий объем добычи возрос до 70 млн м<sup>3</sup>, но тем не менее не превысил и половины утвержденных запасов.

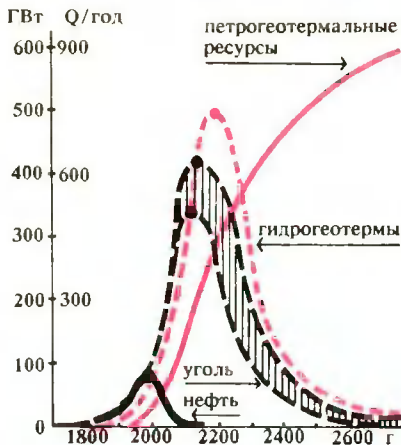
По общей ресурсной базе геотермальной энергии, включающей термальные воды и рассолы с температурой выше 15 °С (принятой за температуру окружающей среды) в первых 3 км земной коры, Советский Союз оказался благодаря огромности территории впереди других стран мира. Но при такой же оценке гидрогеотермального потенциала теплоснабжения (150 °С и выше) он уступает КНР, США, Канаде, Индонезии, Перу и Мексике, имеющим более горячие недра. Тем не менее и при седьмом месте нашей страны энергетический потенциал геотермальных флюидов на глубинах до 3 км составляет весьма внушительную величину — 11 трлн т у. т.

Что же касается пригодной для добычи и использования доли этого потенциала, то первая оценка геотермальных ресурсов СССР<sup>9</sup> была излишне осторожной и не способствовала быстрому их освоению. Согласно этим расчетам, предлагалось ежегодно в течение 25 лет заменять по 35—40 млн т

<sup>7</sup> Handbook of Geothermal Energy.

<sup>8</sup> Дворов И. М., Дворов В. И. Термальные воды и их использование. М., 1976.

<sup>9</sup> Маврицкий Б. Ф., Отман Н. С., Полуботко Л. Ф., Антоненко Г. К. Ресурсы термальных вод СССР. М., 1975.



Долгосрочный прогноз развития мировой энергетики, сделанный в Лос-Аламосской национальной лаборатории. Согласно этому прогнозу, уже в начале нового тысячелетия уголь вытеснит нефть и газ из топливно-энергетического баланса. В 2150—2200 гг. мощность угольной энергетики достигнет максимума (в 1,3 раза выше суммарной мощности энергоустановок мира в 1985 г.) и начнет падать по мере истощения ресурсов. В этот же период гидрогеотермальная энергетика превзойдет угольную, а затем также начнет падать, уступая место энергетике, развивающейся на петрогеотермальных ресурсах. Прогноз представлен в «квадах» годовой энергопродукции  $Q$  ( $1Q = 10^{15}$  брит. тепл. ед. = 36,05 млн т у. т.) и мощности энергоустановок [ГВт].

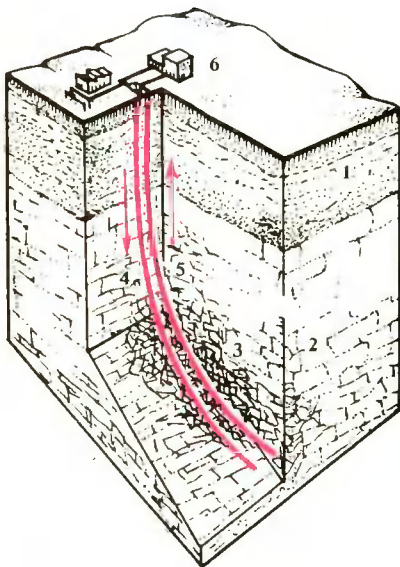


Схема циркуляционной системы извлечения геотермальной энергии горячих пород: 1 — осадочная толща; 2 — скальные породы с блочной структурой типа гранитов или гранодиоритов, 3 — система трещин, образованных гидроразрывом, 4 — нагнетательная скважина; 5 — добычная скважина, 6 — насосная установка.

топлива исключительно за счет фонтанной добычи термальных вод и пара. Уточненная оценка<sup>10</sup>, рассчитанная на более рациональную технологию добычи термальных вод с реинжекцией (поддержанием пластового давления), определяет их ресурсы в 3,8—4,1 млрд ГДж/год и возможную годовую экономию топлива — в 130—140 млн т. Однако и эта оценка занижена, поскольку учитывает лишь ту небольшую долю основных геотермальных ресурсов, которая содержится в естественных коллекторах, обеспечивающих самоизлив теплоносителя. Более того, даже эти гидрогеотермальные ресурсы, пригодные для освоения с помощью уже отработанных простейших технологий, остаются нереализованными, не говоря уже об активно развиваемых за рубежом технологиях извлечения энергии непосредственно из горячих пород.

### ПЕТРОГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ

В уже упомянутом долгосрочном прогнозе ЛАНЛ главная роль в энергетике будущего тысячелетия отводится петрогеотермальной энергии, аккумулированной твердыми горными породами и их распадами.

Разумеется, между этими обширными ресурсами и парогидротермами нет «разделяющей пропасти»: любой геотермальный фонтан со временем, по мере снижения напора и температуры, начинает отнимать тепло у горячих пород. Показано, в частности, что 90 % тепла фонтанирующей геотермальной скважины, которая эксплуатирует коллектор с паром (220 °С, пористость 20 %), извлекается из его твердого минерального скелета<sup>11</sup>. При таком же по пористости и температуре коллекторе с напорной водой на ее собственное теплосодержание приходится до 30 % продукции, а доля извлеченной из пород энергии снижается до 70 %.

Ясно, что такое извлечение петрогеотермальной энергии — результат возрастающего температурного воздействия горячих пород на «недогретый» фильтрационный поток истощающегося геотермального месторождения. Этот механизм настолько очевиден, что возникает вопрос: нельзя ли в горячем массиве пород искусственно создать фильтрационный поток и холодной водой извлекать геотермальную энергию? И еще: поскольку на глубине горячие породы

<sup>10</sup> Маврицкий Б. Ф., Ефремович Н. В., Шпак А. А. Методические рекомендации по поискам, разведке и оценке запасов термальных вод. М., 1982.  
<sup>11</sup> Кругер П., Отто К. Геотермальная энергия. М., 1975.



Фонтан пара при испытаниях геотермальной скважины. Месторождение Вайракей [Новая Зеландия].

распространены повсеместно, нельзя ли и петрогеотермальные ресурсы использовать везде, где есть нужда в энергии?

Первым к этой идее пришел еще в 1898 г. наш великий соотечественник К. Э. Циолковский, который в 1903 г. опубликовал ее в статье «Продолжительность лучеиспускания звезд», а затем подробно рассмотрел в работе «Второе начало термодинамики»<sup>12</sup>. По данным Дж. Гарниша<sup>13</sup>, в 1904 г.

с аналогичной идеей выступил известный английский инженер Ч. Парсонс. Любопытно, что в 1925 г. «Красный журнал для всех» (№ 7) опубликовал статью «Неисчерпаемый источник энергии у нас под ногами», в которой излагался проект Парсонса, предлагавшего пройти зигзагообразную шахту глубиной 19 км, чтобы «избавить человечество от забот об энергии». А пятью годами раньше знаменитый ученый и писатель-фантаст В. А. Обручев детально рассмотрел возможность извлечения геотермальной энергии из горячих гранитов с помощью вертикальной шахты и отходящих от нее радиальных квершлагов с колодцами на концах. Он же ввел понятие геотермальной циркуляционной системы (ГЦС): по одним каналам в недра нагнетается холодная вода, а по другим отводится нагретый теплоноситель<sup>14</sup>.

Впрочем, ни один из авторов заманчивой идеи не рассматривал длительность и интенсивность нагревания воды в горячих породах. А ведь именно в это и упирается возможность ее реализации. По современным оценкам, на каждые 10 МВт тепловой мощности ГЦС, создаваемой за пределами термоаномалии, но в достаточно благоприятных геотермических условиях (температура 100 °С на глубине 3 км) требуется не менее 2—3 млн м<sup>2</sup> поверхности теплообмена горячих пород с потоком воды. Объем пород, охлаждаемых за 10 лет работы ГЦС такой мощности, должен составлять 50—70 млн м<sup>3</sup>.

Первые реальные схемы ГЦС обеспечивали необходимые теплообменную поверхность и объем зоны теплоотбора за счет естественных проницаемых пластов достаточно глубоких и, соответственно, горячих горизонтов. В 1962 г. с предложением о ГЦС с естественным коллектором выступил С. Н. Назаров. В том же году О. А. Кремнев предложил создать в Западной Сибири крупную геотЭС на базе широкого кольца нагнетательных и добычных скважин ГЦС с естественными коллекторами в горячих горизонтах глубокого артезианского бассейна. Однако воплотить эти предложения не удалось.

В 1963 г. во Франции была создана первая ГЦС с естественным коллектором, предназначавшаяся для кондиционирования воздуха в Парижском Доме телерадио. В 60-е годы началось промышленное освоение геотермального теплоснабжения от ГЦС, а в 1981 г. уже в 10 французских городах работали ГЦС, снабжавшие водой с температурой

<sup>12</sup> Циолковский К. Э. Второе начало термодинамики. Калуга. 1914.

<sup>13</sup> Proceedings of the first EEC/US workshop on geothermal hot dry technology // Geothermics. 1987. Vol. 16. №4.

<sup>14</sup> Обручев В. А. Тепловая шахта // Путешествия в прошлое и будущее. М., 1950.



Первая в мире циркуляционная система с гидро-разрывом горячих гранодиоритов. Полигон Фентон Хил, Лос-Аламосская национальная лаборатория (США)

от 50 до 80 °С 45 тыс. квартир. К 1985 г. количество геотермальных «дуплетов» из нагнетательной и добычной скважин достигло 60. Все они работают с промежуточными теплообменниками и погружными насосами для принудительной откачки горячей воды из добычных скважин.

Многолетний французский опыт подтверждает экономическую и экологическую выгоду ГЦС с естественными коллекторами. Полные затраты на «дуплет» составляют 4—6 млн долл., себестоимость — 1,5—2,4 цента за 1 кВт·ч или 10 долл. за 1 т у. т. Без серьезных неудобств для жителей такие системы строились даже в центральных районах Парижа.

Однако тот же французский опыт показал, что далеко не каждый проницаемый пласт может стать хорошим коллектором для ГЦС. Высокой эффективностью со сроком окупаемости капиталовложений менее 4 лет обладают лишь те ГЦС, коллекторы которых характеризуются высокой «пропускаемостью» (произведением проницаемости пород на мощность пласта) — выше 100 дарси · м. Для большинства французских ГЦС этот показатель не превышает 20—50 дарси · м, а срок окупаемости затрат (6—10 лет) близок к предельному. Неудивительно, что при снижении мировых цен на нефть от

чрезмерно высоких «кризисных» интерес к развитию во Франции этих, не слишком эффективных, ГЦС стал падать.

Природные пласты-коллекторы с высокими «пропускаемостью» и температурой достаточно редки. В нашей стране, например, этим требованиям полностью отвечают лишь отработанное газовое месторождение Ачи-Су в Дагестане и меловые отложения черноморского побережья Грузии. Таким образом, расчетные оценки и опыт создания ГЦС с естественными коллекторами доказывают, что действительно широкое освоение петрогеотермальных ресурсов невозможно без создания обширных искусственных коллекторов в горячих массивах слабопроницаемых пород.

В послевоенные годы в США, СССР и Франции начались исследования по использованию для создания ГЦС мощных подземных взрывов<sup>15</sup>. В американском проекте «Плаушер» предлагалось, в частности, использовать камуфлетный взрыв для «стимулирования» природного геотермального коллектора. Затем был предложен аналогичный проект «Плаушер джеотермал», но оказалось, что благоприятные экономические показатели по этому проекту обеспечиваются лишь при взрыве большой мощности (не менее 1—2 Мт).

Предложение о создании искусственного коллектора для ГЦС в слабопроницае-

<sup>15</sup> Handbook of Geothermal Energy.

мых породах разработал в 1966 г. профессор Станфордского университета П. Кругер. По его расчетам, взрыв мощностью 5 Мт на глубине 3 км даст 113 млн м<sup>3</sup> разрушенных пород с температурой 200 °С. При их охлаждении водой до 120 °С получение пара обойдется дешевле, чем его добыча на месторождении Гейзеры. В 1975 г. во Франции был разработан геотермальный проект с камуфлетным взрывом под морским дном — скважины должны были бурить с плавучей платформы, на которой предлагалось разместить геотЭС. Примерно в эти же годы было утверждено технико-экономическое обоснование для создания ГЦС на чукотском прииске «Ленинградский». Искусственный коллектор здесь должен был образоваться в зоне взаимодействия нескольких подземных взрывов умеренной мощности. Этот проект, разработанный сотрудниками нашего института для круглогодичного теплоснабжения обогатительной фабрики, обещал весьма внушительный экономический эффект.

Однако ни один из перечисленных проектов не был реализован. Помимо отрицательного общественного мнения, многомесячного карантина из-за требований радиационной безопасности, разрушительных сейсмических эффектов, сложности подготовки скважин и систем обеспечения камуфлетного взрыва у них есть принципиальный недостаток: основная часть энергии взрыва нерационально расходуется на измельчение пород вблизи гипоцентра при крайне неравномерной раздробленности других частей горного массива.

Начиная с 1970 г. в ЛАНЛ сосредоточили усилия на совершенно ином способе создания искусственных коллекторов для ГЦС. Это система разных по масштабу трещин, возникающих в массиве горячих скальных пород при мощном гидроразрыве (разрушении массива пород при нагнетании в него воды под давлением в сотни атмосфер). Вслед за США подобные работы начали Великобритания, Япония, Франция, ФРГ, СССР, ГДР и другие страны. Недавно японским специалистом удалось удвоить продукцию скважин парагидротермального месторождения, осуществив гидроразрыв в его коллекторе.

Вообще, опыт применения гидроразрывов довольно велик. Уже 40 лет их используют для повышения проницаемости нефтегазоносных пластов и создания трещин в массивных породах. Гидроразрывы произведены в мерзлых породах и при температурах выше 300 °С, на глубинах 10—30 м и на глубине более 5 км, в плотных породах типа габб-

ро. Размеры горизонтальных и вертикальных зон разрушения меняются от метров до километров, раскрытие трещин — от долей миллиметра до сантиметров<sup>16</sup>.

Похоже, с большими или меньшими трудностями гидроразрыв можно осуществить в любых породах, на любой глубине и в любом районе. Это означает, что начаты во многих странах мира работы имеют достаточно дерзкую цель — извлекать геотермальную энергию там, где она необходима. Перспектива, конечно, привлекательна. Однако нельзя забывать, что в зависимости от природных условий и обоснованности технологических решений создание такой ГЦС принесет больший или меньший выигрыш, но может принести и ущерб.

### ВУЛКАНИЧЕСКОЕ ТЕПЛО И ПЕРСПЕКТИВЫ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Менее универсальной по условиям реализации выглядит другая технологическая идея, развиваемая с 1975 г. американской национальной лабораторией «Сандия»<sup>17</sup>. Она направлена на освоение наиболее высокотемпературной части петрогеотермальных ресурсов, которая представлена расплавами в промежуточных очагах вулканов. Эта часть составляет основание «ресурсной пирамиды» и для США, например, намного превосходит ресурсы твердых горячих пород.

Еще в 1960 г. ученым Калифорнийского университета удалось пробурить твердую «корку» лавового озера, образовавшегося за год до этого при извержении вулкана Килауэа (Гавайские о-ва). На глубине 6,2 м буровое долото вошло в расплав. За время измерений зафиксирована максимальная температура 1064 °С.

Здесь же в 1985—1986 гг. сотрудники лаборатории «Сандия» подготовили и провели несколько серий опытов по отработке разных режимов извлечения тепла из магмы. Толщина твердой «корки» увеличилась за прошедшие годы до 200 м — повышенная температура на поверхности застывшего расплава едва чувствуется через подошвы обуви. Пробури в 7 скважин диаметром около 10 см, опробовали их в режиме непрерывной циркуляции и при нагнетании воды с циклическим выпуском пара. В первом случае тепловая мощность составила 180 кВт/м<sup>2</sup>, во втором — до 980 кВт/м<sup>2</sup>.

В 1987 г. в Калифорнии в долине

<sup>16</sup> D a s h Z. et al. Hot Dry Rock Geothermal Energy Development Program. Unformal Report. Los Alamos, 1989.

<sup>17</sup> D u n n J. C. Magma energy for power generation. Energy Power Research Institute Meeting. Palo Alto, 1987.



Империэл начато бурение скважины, которая на глубине около 6 км должна войти в зону магматического расплава. Возможно создание здесь геотЭС мощностью 36 МВт.

Учитывая, что на Земле известно около 800 вулканов, многие из которых имеют промежуточные магматические очаги на глубинах, доступных бурению, перспективность этих работ не вызывает сомнений. И все же технология ГЦС с гидроразрывом горячих пород гораздо ближе к промышленному освоению. В этом, в частности, убеждает демонстрация ЛАНЛ коммерческой пригодности разработанной ею технологии.

Для создания первой демонстрационной ГЦС выбран участок в термоминеральной зоне кальдеры Валес неподалеку от Лос-Аламоса. После преодоления ряда трудностей, связанных с отсутствием техники для высокотемпературных измерений и новизной задачи, в октябре 1977 г. удалось получить фонтан пара из первоначально сухого массива горячих гранодиоритов. По одной скважине вода нагнеталась в обширную вертикальную трещину гидроразрыва на глубину около 3 км (температура пород 185 °С), нагревалась там, вскипала и выходила на поверхность через другую скважину в виде пара. Для повышения температуры теплоносителя и тепловой мощности ГЦС использовался промежуточный теплообменник. В 1978 г. за 3 мес. непрерывной циркуляции раскрытые трещины увеличились с 0,2 до 1 мм, гидравлическое сопротивление системы снизилось при этом в 10 раз.

Дальнейшие испытания (1979—1982 гг.) сопровождались тщательным экологическим мониторингом. Сейсмических или каких-то иных отрицательных воздействий на природную среду не обнаружено. Утечка воды при прохождении через массив не превышала 10 %, минерализация быстро снизилась до 0,2 г/л, что соответствует кондициям питьевой воды.

В 1982 г. на этом же полигоне завершено бурение скважин для второй фазы проекта — создания ГЦС коммерческого типа. На глубине около 4 км скважины вскрыли массив гранодиоритов блочной структуры с температурой более 300 °С и весьма низкой проницаемостью. Гидроразрывы, произведенные здесь в 1983—1985 гг., неожиданно привели не к копированию вертикальных дискообразных трещин первой стадии, а к формированию объемных зон разрушения в виде системы сдвиговых трещин по контактам смежных структурных блоков.

Всего на полигоне произведено 13 массивных гидроразрывов. Объем разрушенных пород примерно в 3 тыс. раз превосходит

объем закачанной воды. После ряда нагнетаний воды, снизивших удельное гидравлическое сопротивление (импеданс) системы, было проведено месячное испытание ГЦС. Оно показало, что при нагнетании 58,4 м<sup>3</sup>/ч воды с напором 30 МПа и охлаждении полученного теплоносителя от 191 до 20 °С тепловая мощность достигает 9,3 МВт, утечка воды в массив и импеданс системы намного снижаются, емкость трещинного коллектора возрастает с 270 до 350 м<sup>3</sup>. Впереди круглогодичные испытания, но и эти результаты можно признать весьма обнадеживающими. По итогам годичной демонстрации коммерческой пригодности своей технологии ЛАНЛ ожидает крупные вложения частного капитала в строительство промышленных ГЦС на уже отобранных участках в США, а также рассчитывает на экспорт новой технологии.

И все-таки главный результат 20-летних работ — не вчерашние и завтрашние прибыли от новых технических средств, а полученная информация. Они доказали реальность создания экологически «чистых» энергосистем на основе повсеместно распространенных петрогеотермальных ресурсов, подтвердили возможность получения в горячем массиве огромных по объему зон охлаждения с помощью уже имеющихся технических средств. Экспериментальное подтверждение получили и теоретически установленные ранее закономерности теплопереноса при фильтрации воды в трещинах, обосновывающие срок службы ГЦС в 25—30 лет, и возможность эксплуатировать вертикальные трещины без крепления, и снижение фильтрационных утечек, и незначительная минерализация воды при фильтрации в породах типа гранитов и гранодиоритов.

Разумеется, опыт американских специалистов не только широко используется в других странах, но и существенно развивается — крупные геотермальные эксперименты проводятся ныне в Великобритании, Японии, Франции и ФРГ.

Обоснование и строительство первых в нашей стране опытных ГЦС с гидроразрывом горячих пород также базируется на результатах зарубежных исследований. Вместе с тем у нас разрабатываются и оригинальные технологические схемы. Так, в пос. Русские Комаровцы близ Ужгорода опытной ГЦС предполагается управлять качеством (температурой) и количеством тепла в соответствии с сезонными изменениями нужд потребителей — теплично-парникового комбината, животноводческой фермы. Управление мощностью и температурой на выходе из ГЦС будет осуществляться за счет изменения расхода воды в контуре. Другая опытная

ГЦС в г. Чолпон-Ата на берегу оз. Иссык-Куль в Киргизии приближается к схеме ЛАНЛ, а первый экспериментальный блок в горячих гранитах Тырныауза создается с учетом опыта японской системы в Хиджори.

Говоря о мировом опыте геотермальной энергетики, нельзя не отметить явного приоритета геотЭС. Для месторождений природного пара это предпочтение совершенно резонно. Понятна и электроэнергетическая направленность отмеченных выше американских работ по освоению геонапорных бассейнов и высокотемпературных расолов: она объясняется, прежде всего, принятыми в США и других развитых странах электрическими системами отопления и горячего водоснабжения. Однако строительство геотЭС на базе ГЦС потребовало бы увеличить глубину скважин до 6—7 км или ограничиться довольно редкими зонами термоаномалий. Если же ориентироваться на современные высокоэффективные турбины с расчетной температурой пара 400—500 °С, нецелесообразность создания «сверхглубоких» ГЦС становится еще очевиднее. Поэтому в СССР и других странах, где основная часть сжигаемого топлива расходуется не в электроэнергетике, а в теплоснабжении, именно его следует считать первоочередной сферой для использования петрогеотермальных ресурсов на основе известных пока типов ГЦС. Например, в Крыму вместо строительства АЭС следовало бы добывать геотермальную энергию — это позволит ликвидировать все отопительные котельные и использовать высвободившийся природный газ для производства электроэнергии.

Вместе с тем нельзя отрицать важности использования огромных ресурсов геотермальной энергии горячих пород для рентабельного производства электричества. Наиболее перспективными представляются два комбинированных подхода к этой проблеме. Один из них основан на окупаемости дорогой электропродукции глубокого искусственного коллектора каскадной геотермальной системы дешевым теплом из естественного коллектора умеренной глубины, другой — на подземном «догреве» геотермального теплоносителя за счет сжигания топлива в пласте.

В совместных работах нескольких организаций, и среди них нашего института, по освоению Прибалтийской геотермальной аномалии для снабжения теплом курортного района Паланги разрабатывается каскадная ГЦС. Она будет включать естественный коллектор на глубине 2—2,5 км с температурой 60—70 °С, который даст воду для про-

межуточных теплообменников системы горячего водоснабжения, и последующие гидро-разрывы горячих гранитов более глубоких горизонтов — для отопительной системы, а возможно, и автономного электроснабжения насосных и других установок каскада коллекторов и теплоаккумуляторов.

Серьезные перспективы для электроэнергетики открывает и идея геотермально-топливных систем (ГТС), разрабатываемая проблемной лабораторией горной теплофизики нашего института. В наиболее полном варианте ГТС вода нагревается и вскипает за счет геотермальной энергии горячих пород, а влажный пар «доводится» до 500—600 °С и 15—25 МПа в многокамерных теплообменниках за счет тепла, получаемого при подземном сжигании забалансовых или «потерянных» запасов топлива — угля, нефти и др.

Предварительная оценка этой технологии для условий Донбасса (пласт угля мощностью 2 м, глубина 3,5 км, температура массива 130 °С, температура рабочего пара 550 °С, сетка скважин 400×500 м) позволила определить общую длину огневого фронта (3 км), длину поля по простиранию (14 км), мощность электростанции (1 ГВт), срок службы (30 лет). Расчеты указывают на возможность удешевления электроэнергии чуть ли не на порядок по сравнению с ТЭЦ на донецком угле, добытом с умеренных глубин, поскольку около 80 % энтальпии рабочего пара составляет геотермальная энергия пород, аккумулировавших и «потерянную» часть теплоты сгорания угля.

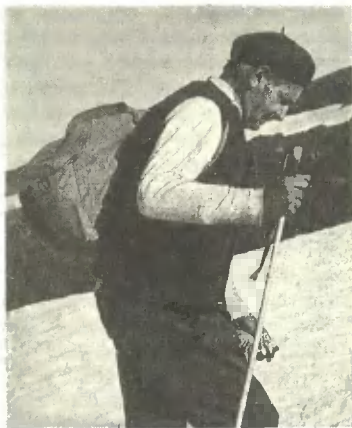
Совершенно ясно, что от первых экспериментов и оценок до реальной технологии очень далеко. Но игра стоит свеч, хотя бы потому, что площадь угольных бассейнов мира на несколько порядков превосходит общую площадь парогидротерм. Дальнейшее развитие этой и многих других технологических идей — сегодняшних и будущих — приведет к неизбежному итогу: главной и наиболее выгодной сферой использования геотермальных ресурсов станет именно электроэнергетика.

В заключение хотелось бы подчеркнуть, что развиваемые в нашей стране (в том числе и в ЛГИ) аналитические и численные методы анализа моделей гидроразрыва скальных пород, процессов теплообмена и фильтрации, а также системной оптимизации параметров геотермальной технологии соответствуют зарубежному уровню и позволяют уже сейчас перейти к крупным технологическим экспериментам.



# СУДЬБА КАМЧАТКИ В НАШИХ РУКАХ!

В. С. Кирпичников



Валентин Сергеевич Кирпичников, профессор, доктор биологических наук, старший научный сотрудник-консультант Института цитологии АН СССР. Область научных интересов — эволюционная теория, генетика и селекция рыб. Лауреат премии им. Н. И. Вавилова, Герой Социалистического Труда.

**С** ОХРАНЕНИЕ богатств окружающей нас природы стало такой же неотложной задачей человечества, как и разоружение. Особенно актуальна эта задача для нашей страны, где в результате бездумной политики и безответственности руководителей в катастрофическом состоянии оказались многие районы. В ряду неотложных мер по спасению природы одно из первых мест занимает создание обширной сети охраняемых территорий — заповедников, заказников и национальных парков.

Большое внимание во всем мире в последнее время уделяется созданию национальных парков. К сожалению, в СССР из существующих 15 национальных парков лишь немногие действительно работают. Даже три лучших парка — Игналинский в Литве, «Гауя» в Латвии и Лахемааский в Эстонии — остро нуждаются в материальной и моральной поддержке. Другие национальные и «природные» парки существуют в основном лишь

на бумаге или влачат жалкое существование, как, например, парк «Жигули» на Волге («Самарская Лука»), «Лосиный Остров» под Москвой, «Севан» в Армении и многие другие.

Проблема расширения сети заповедников и организации национальных парков имеет особое значение для Камчатки — удивительной, неповторимой по красоте и богатству природы восточной окраины нашей страны.

Высокие горы (сопки), покрытые льдами и снежниками, с непроходимыми зарослями карликовых ольхи, березы, рябины и стелющегося, вечнозеленого кедрача на склонах; причудливо искривленные, нередко неохватные каменные березы; 29 действующих и множество потухших вулканов; прозрачные озера, реки и ручьи, заполняющиеся летом большими стадами неудержимо стремящихся на нерест лососей; пороги («бары») в устьях рек, на которых дежурят, охотясь за рыбами, сотни проворных усатых нерп; термальные источники и гейзеры; травы, достигающие за месяц трехметровой высоты; быстро сменяющие друг друга цветы, распускающиеся прямо на глазах; бурые медведи, древние хозяева Камчатки, страстные рыболовы — все это и многое другое глубоко поражает новичка, приехавшего с запада, если, конечно, он искренне любит природу и не совсем очерствел душой. Хочется добавить еще и особую тишину камчатского леса, лишь изредка нарушаемую однотонными криками «глухой» кукушки, карканьем черного ворона и пением многих певчих птиц. Нет на Камчатке змей и лягушек, зато от комаров в разгар лета защититься нелегко, особенно в таежных лесах.

Камчатский полуостров безусловно уникален по красоте и поразительному сочетанию множества неповторимых особенностей природы. Он может поспорить с любым другим земным уголком, как в Северном, так и в Южном полушарии. Природа Камчатки многообразна и изменчива, частые извержения вулканов продолжают менять форму ее гор, покрывают сушу и воды пеплом. Наш долг — сохранить это чудо и вместе с тем сделать его всенародным достоянием. Камчатка дарит нам не только радость общения с красотой и мощью природы, она дает много ценнейших съедобных рыб. Рыбаки Камчатки ежегодно добывают почти 1,5 млн т рыбы, особую ценность представляют при этом высококачественные тихоокеанские лососи, приносящие стране немалые доходы.

К сожалению, сейчас угроза потерять Камчатку со всеми ее природными богатства-

ми не менее велика, чем опасность, нависшая над Аральским, Азовским и Каспийским морями, Байкалом, Балхашем и Ладогой, Невской губой Финского залива, югом Краснодарского края и Молдавией. Сохранить Камчатку необходимо и пока еще возможно. Следует не только защитить легко уязвимую камчатскую природу, но и принять радикальные меры для восстановления и увеличения ее главного богатства — тихоокеанских лососей, которые ежегодно миллионными стадами приходят из океана в реки, ручьи и озера Камчатки для размножения. После нереста все лососи гибнут, удобряя своими телами бедные органикой камчатские водоемы и способствуя тем самым лучшему выживанию своего потомства.

Нарушить равновесие всех процессов, проходящих в водоемах и на суше Камчатки, — равновесие, обеспечивающее сохранение ее уникального растительного и животного мира, и в том числе многочисленных стад лососей, — очень легко и очень опасно. Об этом красноречиво говорит печальный опыт оскудения лососевых стад на Амуре, в Приморье и на Сахалине.

Урон, наносимый природе Камчатки несогласованной и неконтролируемой деятельностью различных ведомств — агропрома, управлений лесной, горнодобывающей и других отраслей промышленности, а также геологическими партиями и туристами, очень велик. Лесозаготовители варварски уничтожают леса в долине р. Камчатки, осушая ее притоки и подрывая воспроизводство в них лососей. Сплав леса привел к тому, что «топляки» местами плотно устилают дно главной лососевой артерии полуострова. Расположенные по речным долинам совхозы губят лососевые реки Камчатки, при этом не в меру ретивые мелиораторы нарушают веками складывавшийся режим водоемов.

С большим трудом защитникам природы на Камчатке удалось воспрепятствовать строительству на реках гидростанций — они принесли бы много бед природе и рыбному хозяйству полуострова. В то же время, несмотря на резкие протесты общественности, продолжают взрывные работы и вывоз грунта со склонов сплошь покрытой березовым лесом и богатой грибами Петровской сопки. А ведь этот прекрасный естественный парк, поднявшийся над Петропавловском почти на 400 м и протянувшийся на добрых 15 км, — излюбленное место отдыха жителей города. Быстро загрязняется Авачинская бухта, одна из красивейших в мире; ее состояние приближается к критическому. Зловещий перечень необдуманных, экологических недо-

пустимых мероприятий, проводимых на Камчатке, можно было бы продолжить.

Недавно на восточном побережье полуострова был восстановлен образованный еще в XIX в. обширный Кроноцкий заповедник. В него вошли величественная Кроноцкая сопка, взметнувшаяся к небу на 3,5 км, и другие вулканы, в том числе урочище Узон — кальдера вулкана с сетью теплых и холодных озер и сернистых источников. Поблизости находится единственная в СССР удивительная «долина гейзеров», открытая около 50 лет назад. К заповеднику относится и красивое Кроноцкое озеро, заселенное гольцами и «кокани» — жилой расой тихоокеанского лосося нерки.

В 1988 г. появился заказник на юге Камчатки, включивший расположенное между тремя вулканами глубокое, богатое лососями Курильское озеро и его окрестности. По берегам озера, ручьев и рек, впадающих в него, много медведей.

Нет сомнения, что необходимо организовать еще хотя бы два-три заповедника, в том числе по меньшей мере один на севере Камчатки в Корякском автономном округе. Территории заповедников, однако, доступны только штатным сотрудникам и немногим ученым, приезжающим из других научных учреждений поработать. Посещают их и единичные «избранные лица» — высокопоставленные чиновники и известные деятели науки и культуры, а также изредка иностранцы. Для остальных жителей нашей страны путь в заповедники обычно закрыт. Защита природной среды путем запрета посещения той или иной уникальной территории широко распространена в СССР (примером может служить горный Крым). Иногда такие ограничения необходимы, но некоторые районы Камчатки следовало бы открыть для туристов, как наших, так и зарубежных.

Сделать это можно путем создания национальных парков, посещение которых позволит знакомиться с замечательной природой Камчатки десяткам тысяч туристов без ощутимого вреда для нее. Известно, как процветают, сохраняя самобытность природы, национальные парки в США и некоторых других странах. Они приносят немалые доходы, складывающиеся из входной платы, отчислений торговых и других служб на их территориях, иных поступлений. Значительную часть доходов каждого парка, если они появятся на Камчатке, можно использовать для оплаты труда сторожей и егерей, проводников, инспекторов рыбоохраны, лесоводов и садовников, специалистов-экологов и других лиц, которые будут обес-

печивать сохранение на территории парка всех достопримечательностей края.

В пользу превращения всей Камчатки в заповедный край впервые высказался 15 лет назад недавно скончавшийся ученый-краевед И. И. Лагунов, страстный энтузиаст охраны природы Камчатки, неутомимый путешественник. Он подчеркивал необходимость сохранения уникальной природы Камчатки, ее чистейших рек и озер, огромных стад лососей, лесных богатств в долине р. Камчатки, богатейшей тундры и оленеводства на севере. Приоритет должен быть отдан при этом рыбному хозяйству, дающему нашей стране миллионы тонн высококачественной рыбной продукции.

Путь спасения Камчатки, сохранения и умножения ее природных богатств, включая рыбные ресурсы, заключается не только в создании на ней сети заказников, заповедников и национальных парков, но и в научно обоснованном подходе к развитию на Камчатке различных отраслей хозяйственной деятельности человека. Речь идет прежде всего о приоритете рыболовства и рыбообработывающей промышленности, а также о мероприятиях по разведению лососей. Рыболовство и обработка рыбы на Камчатке крайне запущены, к рыбной промышленности можно предъявить множество претензий, а рыбоводство почти не развито. Приведу лишь один яркий пример вопиющей безхозяйственности. В 1987 г. в Курильское озеро на юге Камчатки уже к середине августа на нерест пришло из океана свыше 2 млн производителей лосося (нерки) и, хотя емкость нерестилищ здесь была превышена (переуплотнение в местах нереста приносит большой вред воспроизводству лососей), из-за отсутствия тары на ближайшем Озерновском рыбозаводе в озеро было пропущено еще более 1,5 млн производителей (примерно 4 тыс. т рыбы), которые могли быть выловлены рыбаками. Тем самым условия нереста лососевых в озере и его притоках значительно ухудшились и была потеряна ценнейшая рыбная продукция. Аналогичная история повторилась в 1988—1990 гг.

Техническая оснащенность многих промысловых судов и почти всех рыбообработывающих заводов очень низка, но, пожалуй, главная беда заключается в несогласованности действий различных организаций, недостаточной маневренности флота и плохом снабжении. Скверно обстоит дело и с рыбо-разведением, которое уже сейчас могло бы увеличить запасы двух самых массовых видов тихоокеанских лососей — горбуши и кеты. Долгое время на Камчатке существовал единственный рыболовный завод (на оз. Уш-



Осень. Кальдера вулкана Узон.

Фото В. Е. Гимпенрейтора.

ки, в нижнем течении р. Камчатки). Этот завод приносил только вред: как установили ихтиологи Камчатского отделения Тихоокеанского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КОТИНРО), увеличение сбора икры кеты и нерки приводило к значительному сокращению возврата на нерест из океана производителей этих видов. Отлов производителей во время нереста подрывал основы естественного воспроизводства лососей в озере. После нескольких десятилетий такой явно вредной работы завод в прошлом году наконец закрыли. Эффективность работы нового Малкинского экспериментального рыболовного завода, расположенного в верховьях р. Большой, пока не ясна. Куплен в Японии и строится рыбозавод на р. Паратунке, впадающей в Авачинскую бухту, хотя целесообразность его сооружения на этой реке, не очень богатой лососями и сильно загрязненной, сомнительна. На мой взгляд, лучше было бы разместить его на одной из двух главных лососевых рек полуострова — Камчатке (восточ-

ное побережье) или Большой (западное побережье). Необходимо при этом тщательно продумать, в каком направлении и с какими видами лососей будут работать новые рыбозаводы, до какого возраста на них будут выращивать (и чем подкармливать) молодь. И учесть богатый опыт по выращиванию молоди лососей, накопленный в Японии, Норвегии и других странах.

Одно из важнейших рыболовных мероприятий — удобрение холодных камчатских озер, бедных кормовыми организмами. Успешные опыты, проведенные под руководством недавно скончавшегося известного ученого гидробиолога И. И. Куренкова показали, что внесение фосфатов может значительно поднять продуктивность озер, резко повысить выживаемость молоди лососей и в результате увеличить численность производителей, приходящих ежегодно в озера Камчатки из океана. Экономический эффект такого эксперимента, по скромным подсчетам, равен 8—12 млн руб. в год.

Развитие лососевого хозяйства на Камчатке (как и в других регионах) зависит от нашего знания особенностей биологии лососей, в частности возрастной и генетической



Нерест нерки в оз. Курильское.<sup>1</sup>

Фото В. Е. Гилпенрейтора.

структуры их популяций, динамики численности нерестовых стад, путей миграции и т. д. Повысить эффективность промысла лососевых рыб и избежать при этом подрыва их запасов можно только при высоком уровне научных исследований лососей, в особенности изучения их биологии в морской период жизни. Еще больше роль науки при разведении лососей — за рубежом сейчас широко применяют при искусственном воспроизводстве лососей современные генетические методы, в частности данные по генетической изменчивости популяций, полученные при электрофорезе белков, получают полиплоидные (многохромосомные) формы, меняют пол рыб, применяя специальные скрещивания и гормональные воздействия. В последнее время предпринимаются попытки переноса от одного вида лососевых к другому полезных генов.

Научными исследованиями лососей на Камчатке занимается КоТИНРО, а также экспедиционные отряды и отдельные сотрудники других отраслевых и академических

институтов. Успешной работе ученых мешает прежде всего несогласованность планов работы отраслевых и академических институтов. Необходим единый и авторитетный координирующий центр, который возглавил бы все исследования лососевых на Камчатке и в близлежащих районах. Министерством рыбного хозяйства СССР несколько лет назад была учреждена Всесоюзная научно-техническая программа «Лосось». Однако запланированные по этой программе исследования не были выполнены, не хватало специалистов-руководителей отдельных разделов и не было обеспечено финансирование научных работ.

Остро стоит проблема кадров и в настоящее время. Специалистов высокой квалификации на Дальнем Востоке очень мало. В КоТИНРО не осталось ни одного доктора наук, пополнения за счет талантливой молодежи из числа выпускников вузов почти не происходит. Положение усугубляется безыдейностью и «приземленностью» значительной части современной молодежи, выросшей в период застоя и отсутствия гласности. Идейной основой, на которую могла бы опереться молодежь научных институтов

Камчатки и Приморья, должна стать задача спасения природы Камчатки и превращения ее в заповедный край. Нельзя забывать, однако, и о практической стороне вопроса, о ликвидации бытовых неурядиц, с которыми неизбежно сталкиваются молодые специалисты, и в первую очередь о решении трудной жилищной проблемы.

Эффективность научных исследований, проводимых на Камчатке, снижена и в связи с катастрофическим состоянием полевых лабораторий и стационарных наблюдательных пунктов КоТИНРО. Две старейшие лаборатории (на Дальнем и Курильском озерах) основаны более 50 лет назад замечательными учеными, энтузиастами изучения Камчатки Ф. В. Крогиус и Е. М. Крохиным. Полвека прожили они на Дальнем озере, проводя непрерывные комплексные исследования озера, его флоры и фауны, сложных биогеохимических процессов, протекающих в водной толще, динамики озерной популяции нерки. Это озеро не имеет себе равных в мире по степени изученности биоценоза, пожалуй, только одно из канадских озер может конкурировать с ним в этом отношении. Многолетние непрерывные работы проводятся группой ученых и на Курильском озере.

Трудно переоценить значение этих работ, позволивших решить ряд важнейших теоретических проблем ихтиологии, гидробиологии и лимнологии и способствовавших успешному развитию лососевого хозяйства во всем мире. С 1973 г. на Дальнем, а позднее и на Курильском озере были начаты популяционно-генетические исследования нерки, многое прояснившие в проблеме генетической структуры популяций лососевых рыб и давшие возможность усовершенствовать методы их разведения.

К несчастью, в обеих лабораториях научные работы проводятся сейчас в совершенно недопустимых условиях, в непригодных, тесных помещениях. Современного научного оборудования и научной литературы (даже на русском языке) в лабораториях практически нет, электричество включается на несколько часов в сутки, не налажено снабжение продуктами, плохо работают транспорт и связь. Заграждения на реках, позволившие наладить точный учет численности лососей, приходящих ежегодно на нерест, и молоди, скатывающейся в океан, никуда не годятся — давно пора их заменить стационарными, надежными гидросооружениями. Не буду говорить о состоянии других наблюдательных пунктов КоТИНРО, укажу лишь, что и они совершенно непригодны для проведения сколько-нибудь серьезных науч-

ных исследований. Вопрос о реконструкции наблюдательных пунктов КоТИНРО, точнее, о сооружении новых, современных лабораторий, о строительстве плотин и обеспечении научных сотрудников жильем и элементарными бытовыми удобствами, должен быть решен немедленно. Только в этом случае рыбное хозяйство Камчатки, и в частности прогнозирование уловов, будет опираться на надежный научный фундамент.

Не меньшее значение для развития исследований имеет и их обеспечение научной информацией, своевременное снабжение КоТИНРО и его лабораторий литературой, включая иностранную. Обмен информацией должен быть взаимным и быстрым. Необходимо участие советских ученых в работе всех крупных международных конгрессов, совещаний и симпозиумов, посвященных изучению рыб, стажировка молодых специалистов в лучших зарубежных лабораториях и приглашение к нам на длительные сроки крупнейших специалистов из-за рубежа. Экономить на этих мероприятиях ни в коем случае нельзя, да и невыгодно!

Судьба Камчатки в большой степени зависит от правильного решения проблемы оптимального сочетания рыбной промышленности и сельскохозяйственного производства, а также от уровня развития других отраслей экономики полуострова — заготовки, сплава и переработки леса, охотничьего промысла, добычи полезных ископаемых, энергетики, местной промышленности, обслуживающей потребности коренного населения Камчатки. Основная задача состоит в согласованном, разумном развитии всех этих отраслей без ущерба природе Камчатки и при обязательном условии приоритета рыбного хозяйства.

Сельскохозяйственное производство занимает на Камчатке особое место, поскольку здесь очень мало земель, удобных для его расширения. Особенно это ощущается в долине р. Камчатки, где дополнительные площади под сельскохозяйственные культуры можно получить только за счет вырубки леса. Уже отмечалось, что уничтожение леса угрожает самому существованию этого района, богатого рыбой и таежным зверем.

Увеличение производства овощей и картофеля на Камчатке возможно либо за счет интенсификации их выращивания на полях, либо путем развития парникового хозяйства с использованием термальных источников. Расширять применение удобрений и пестицидов при полевом овощеводстве крайне опасно, так как это приведет к отравлению лососевых рек и прекращению естественного воспроизводства лососей. Интен-

сивное земледелие может привести также к быстрой эрозии почв, усиленному смыву их культурного слоя в реки.

Единственно правильный путь развития овощеводства на Камчатке — расширение парникового хозяйства. Оно дает пока еще очень мало продукции, несмотря на обилие мощных термальных источников. Возможность получения овощей в парниках и теплицах весьма велики. Здесь многое, однако, не ясно, нужны серьезные научные исследования, направленные на улучшение технологии выращивания овощных культур и создание «чистых» сортов, приспособленных к содержанию в теплицах и не требующих минеральных удобрений.

От создания новых животноводческих совхозов на Камчатке надо решительно отказаться. Продуктивность животноводства следует повышать за счет поисков наиболее приспособленных к местным условиям пород скота и птицы и выведения новых высокопродуктивных и устойчивых пород и гибридов.

Проблема рационального сочетания сельского и рыбного (лососевого) хозяйства на Камчатке сложна и не может считаться окончательно решенной. Несомненно, что при налаживании и особенно интенсификации сельского хозяйства здесь нужна особая осторожность, необходимо избежать отрицательных последствий расширения производства сельскохозяйственных продуктов, и в первую очередь необратимого загрязнения рек и озер полуострова.

Вопрос о судьбах лесной промышленности более ясен. При современных темпах вырубки леса лет через 20 (а может быть, и быстрее) главная река полуострова обмелеет, многие ее притоки высохнут, нерестилища ценнейших лососевых рыб исчезнут. К сожалению, в настоящее время лесозаготовки уже ведутся в ранее неприкосновенных охранных зонах бассейна р. Камчатки. Ущерб для рыбной промышленности в случае продолжения безответственного сведения лесов намного превысит доходы, приносимые леспромпхозами. Непредсказуемо изменится и климат. Нужно немедленно сократить площади вырубок и полностью прекратить речной сплав леса. Необходимо навести порядок в самом крупном на Камчатке Ключевском лесокомбинате — бесхозяйственность на этом предприятии стала, очевидно, привычной для его руководителей. От экспорта камчатского леса в другие районы СССР и за рубеж следует решительно отказаться.

Несколько слов надо сказать об охотничьем промысле. Много промысловых зве-

рей обитает на Камчатке, в том числе соболи, рыси, лисицы, выдры, олени, снежные бараны. В северной части полуострова встречаются лоси, в устьях рек много нерп. Большую ценность представляют каланы. Повсеместно можно встретить медведей.

Главным требованием к охотничьему промыслу на Камчатке является его строго рациональная организация. Особенно важен регулируемый отстрел (по лицензиям) медведей и лосей с целью поддержания их численности на оптимальном уровне.

Горнодобывающей промышленности на полуострове пока нет, но в ближайшем будущем планируется наладить добычу золота и цветных металлов, а также пемзы. Обширные залежи пемзы образовались в окрестностях оз. Курильского в результате катастрофического извержения вулкана, имевшего место несколько тысячелетий тому назад. Тогда же возникло и глубокое (до 300 м) озеро. Идут упорные разговоры о поисках на шельфе у берегов Камчатки нефти и газа. Осуществление этих планов приведет к непоправимому повреждению природы Камчатки и уничтожению ее рыбных богатств. Исключение может быть сделано в будущем для добычи пемзы на юге Камчатки (на восточном побережье), если она будет организована в разумных пределах и при строжайшем соблюдении природоохранных и рыбоохранных мероприятий. О добыче нефти на богатейшем шельфе Камчатки не может быть и речи. Не следует забывать, что камчатские рыбаки добывают у берегов Камчатки очень много рыбы и почти 40 тыс. т крабов.

Потребности Камчатки в электроэнергии могут в значительной степени покрываться за счет строительства геотермальных электростанций — расширения действующей Паужетской и ускоренного сооружения новой — Мутновской. По мнению специалистов, для нормальной эксплуатации этих станций необходима разработка эффективных методов очистки термальных вод от вредных примесей. Следует быстро решить эту чисто техническую задачу. Горячие воды и пар источников целесообразно использовать также для санаторно-курортного лечения и, как уже отмечалось, для выращивания овощей в теплицах.

Строго регламентированной должна быть и работа всех местных предприятий. Необходимо добиваться их экологической чистоты и безотходного производства.

Много самых различных, достаточно сложных вопросов возникнет при осуществлении перечисленных здесь и других мероприятий, конечная и единственная цель



Промысловый лов нерки (неполовозрелые особи).  
Фото А. И. Антипова.

которых — сохранение самобытной, уникальной природы Камчатки и умножение ее ценнейших рыбных ресурсов. При создании национальных парков и организации массового туризма на Камчатке необходимо определить, сколько туристов можно будет принимать ежегодно на Камчатке и как обеспечить их бытовые нужды, не нанося непоправимого вреда природе.

Весь комплекс сложных вопросов, связанных с совмещением интересов рыбного и сельского хозяйства, требует создания на Камчатке сильных, по-современному оснащенных рыбохозяйственных и сельскохозяйственных научных учреждений и привлечения для работы в них молодых талантливых ученых, владеющих всеми новейшими методами исследования. Необходим единый координирующий центр, руководимый авторитетными

специалистами самой высокой квалификации и наделенный правом решающего голоса. Таким центром, мне кажется, мог бы стать специальный межведомственный технико-экономический совет при Камчатском облисполкоме с участием ряда крупных ученых, как местных, так и сотрудников научных институтов, расположенных во Владивостоке, Москве, Ленинграде и других городах. Такой совет должен собираться регулярно и обладать при этом широкими полномочиями, в том числе правом выделять необходимые средства, а также правом «вето» при рассмотрении любых проектов развития экономики Камчатки. Совет должен решать и вопросы организации на Камчатке новых заповедников и национальных парков. Эти последние должны быть хозрасчетными; руководить ими могут акционерные общества, возможно, смешанные и межнациональные. К определению расположения и границ будущих национальных парков следует подойти с большой осторожностью, учитывая необходимость сохранения легко ранимой уникальной природы Камчатки.

В заключение необходимо коснуться вопроса о целесообразности размещения на Камчатке большого числа военных частей и гарнизонов. Секретов в этой области больше не существует, «военная Камчатка» изучена американцами лучше нас с вами. Многочисленные воинские подразделения повинны в существенном загрязнении Камчатки и уничтожении ее природы; особенно опасно загрязнение Авачинской бухты. В свете проходящего сейчас во многих странах мира сокращения вооруженных сил и потепления международного климата можно смело пойти на значительное «разоружение Камчатки».

Камчатка должна стать заповедной, сохранить все свои природные богатства, и в первую очередь лососей. Альтернативой заповедному краю может быть только индустриализация Камчатки — но это приведет к ее гибели. Нет сомнения, что выгоды от сохранения первозданной природы Камчатки и ее чудо-лососей во много раз превысят доходы от всех возможных «нерыбных» производств. Не следует забывать, что развитие сельского хозяйства и горнодобывающей промышленности приведет к необратимому изменению водного режима и климата Камчатки, к катастрофе, сравнимой по масштабу с той, что постигла Арал. Спасти Камчатку от уничтожения необходимо — она нужна нам и всему человечеству!

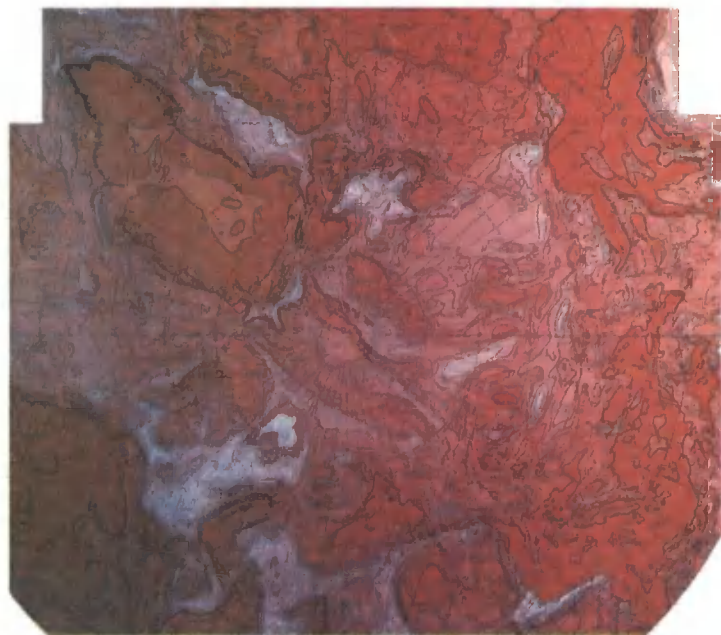


# Поверхность фундамента Арктики и сопредельных областей

А. Е. Шлезингер,  
доктор геолого-минералогических наук  
Москва

**В**ЫШЛА в свет очень интересная и важная в научном и практическом отношении карта поверхности фундамента арктических областей Земли<sup>1</sup>. Она составлена в полярной проекции, что почти исключило обычные для карт искажения естественных соотношений. На ней отражена тектоническая структура кровли фундамента и подошвы осадочного чехла (сделано это с помощью изогипс, проведенных через 1 км). Красным цветом разной тональности показано высотное положение кровли — от яркой, где породы фундамента выходят на дневную поверхность, до бледных тонов в областях их погружения на 15—19 км.

Тектоническая структура земной коры вырисовывается очень наглядно. Отчетливо намечаются зоны поверхностного залегания фундамента, приуроченные к континентам и островам, почти сплошным кольцом окружающим Северный Ледовитый океан. Области погружения фундамента в пределах суши-шельфа соответствуют осадочным бассейнам с различной толщиной осадков. Чаще всего они отличаются изометричными очертаниями. В шельфовых мо-



рях и по периферии океанических котловин глубина залегания фундамента определяется суммарной мощностью осадочного чехла и толщиной водного слоя. Осадочные бассейны периферии океанов преимущественно вытянуты вдоль береговой линии. Во внутренних районах океанов изогипсы поверхности фундамента строго соответствуют рельефу дна. Осадочный чехол здесь маломощный (первые сотни метров), и перепады высот поверхности фундамента отвечают изменениям толщины вод-

ного слоя. Особенно наглядно выделяются подводные хребты Северного Ледовитого океана, пересекающие его от азиатского шельфа до Гренландии.

Карта несет исключительно ценную информацию о потенциальных возможностях недр полярных областей Земли, прежде всего в отношении нефти и газа. Глубокие осадочные бассейны, во многих из которых уже начата добыча этих видов минерального сырья, имеют широкое распространение и требуют дальнейшего изучения.

© Шлезингер А. Е. Поверхность фундамента Арктики и сопредельных областей.

<sup>1</sup> Карта рельефа поверхности разновозрастного гетерогенного фундамента Арктики и сопредельных областей. Масштаб 1:10 000 000 / Гл. ред. И. С. Грамберг, Ю. М. Пущаровский. ПГО «Центргеология» Мингео СССР. М., 1989.

# Звездные гало у рассеянных скоплений

В. Г. Сурдин,

кандидат физико-математических наук  
Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга

**Е**ЩЕ в середине 60-х годов московские астрономы Н. М. Артюхина и П. Н. Холопов установили, что у звездных скоплений помимо хорошо заметного на фотографиях плотного ядра имеется протяженная и очень разреженная оболочка — гало. Плотность звезд в нем столь низка, что гало почти не различимо на фоне звездного неба. Открытие было сделано методом звездных подсчетов: по количеству изображений звезд на фотопластинке скопления удалось обнаружить, что число звезд на единицу площади неба уменьшается по мере удаления от центра скопления (что само по себе естественно), причем это прослеживается далеко за пределами общепринятой в то время границы скопления. Благодаря большому размеру гало в нем может содержаться заметная доля массы скопления (в скоплениях Плеяды и Ясли — более половины всех звезд). Знание точных параметров гало могло бы помочь выяснить динамическую историю скопления, узнать о его происхождении и взаимодействии с соседними скоплениями, газовыми облаками и гравитационным полем Галактики.

К сожалению, метод звездных подсчетов дает невысокую точность при определении параметров гало, поскольку не позволяет отличить скопления от других звезд Галактики, находящихся перед скоплением или за ним. Присутствие звезд скопления обнаруживается только статистически — как небольшой избыток полного числа звезд над числом звезд фона. Поэтому любые флуктуации фона, связанные, например, с присутствием в Галактике непрозрачных газопылевых облаков, могут сильно повлиять на результаты.

Определенную помощь могут оказать измерения яркости и цвета звезд. Родившиеся в одно время и с одинаковым химическим составом, звезды скопления занимают неслучайное положение на диаграмме Герцшпрунга — Рассела, образуя определенные группы-последовательности, форма которых меняется с возрастом скопления. А вот случайные звезды Галактики, представляющие смесь различных поколений, хаотически распределенных в пространстве, заполняют диаграмму «цвет — блеск» более равномерно. Это и позволяет отбирать звезды скопления. Но все же точно сказать, принадлежит ли данная звезда скоплению, этот метод тоже не позволяет, поскольку относительно звезды, попавшей на последовательности звезд скопления, всегда остаются сомнения — не случайное ли это совпадение?

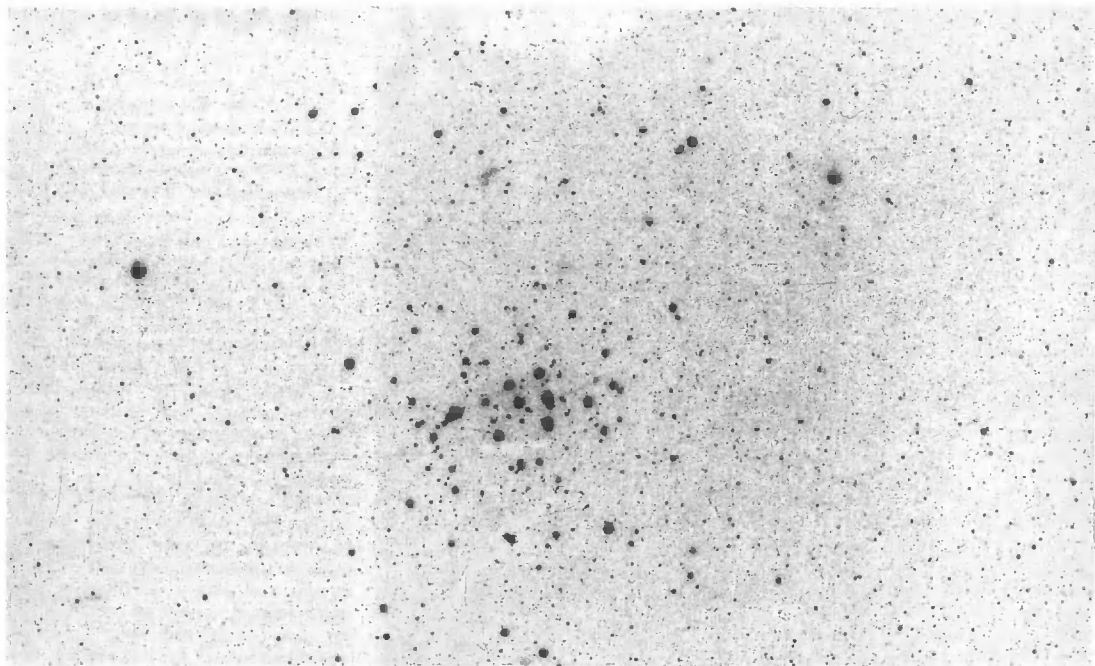
Чтобы решить вопрос однозначно, нужно в окрестности скопления измерить скорости движения всех звезд, претендующих по своему блеску и цвету быть его членами. Дело в том, что звезды, принадлежащие скоплению, летят строго в одном направлении, и их скорости различаются не более чем на 1 км/с. Звезды же галактического фона движутся хаотически со скоростями в десятки и даже сотни километров в секунду. Поэтому маловероятно, чтобы звезда фона имела такую же скорость, что и звезды скопления. Однако сама процедура измерения скоростей — длительный и трудоемкий процесс, требующий многолетнего точного измерения координат звезд на небе, чтобы заметить их угловое перемещение (или «собственное движение» звезд). Необходимо также получить спектры звезд, чтобы по доплеровскому смещению спектральных линий измерить их луче-

вые скорости. Из собственного движения и лучевой скорости складывается полная пространственная скорость звезд.

Учитывая огромный объем работы, астрономы долгие годы не прозодили массового измерения скоростей звезд в окрестности рассеянных скоплений. Поэтому данные о движении звезд накапливались медленно. В результате обнаруженные московскими астрономами гало звездных скоплений (Холопов называл их «коронами») в течение 20 лет оставались любопытным, но не подтвержденным открытием.

Применение компьютеров облегчило многие рутинные астрономические измерения, в том числе и измерения скоростей звезд. Созданы приборы, определяющие координаты звезд на фотопластинках и вычисляющие скорость их углового перемещения. Однако для перевода угловой скорости в линейную необходимо знать расстояние до звезды. Оно достаточно уверенно определяется по ее блеску и спектральному классу. Блеск автоматически устанавливает та же координатная машина, измеряющая положение звезды на фотопластинке, а вот спектральный класс долгое время определялся «вручную». Но в последнее время работа пошла заметно быстрее: в некоторых обсерваториях (в том числе и советских) появились автоматические микроденситометры, «обученные» спектральной классификации звезд.

Но вот беда, спектры, по которым проводится массовая классификация звезд, непригодны для измерения их лучевых скоростей. Дело в том, что при массовой классификации получают сразу спектры всех звезд, попадающих на фотопластинку, помещая для этого стеклянную призму перед объективом телескопа. В результате изображаются каждая звезда растягивает-



Фотография звездного скопления Ясли, полученная Метловой Н. В. на 40-сантиметровом астрографе Крымской обсерватории Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга. Показан участок размером  $5^{\circ}$ .

ся в полосу спектра. Этого достаточно для определения спектрального типа звезды, но не для точного измерения лучевой скорости, поскольку качество спектра невысокое и, главное, нет опорных точек, относительно которых можно было бы измерить доплеровское смещение линий. Поэтому фотографируют отдельно спектр каждой звезды и одновременно — спектр неподвижного опорного источника (железа в вольтовой дуге или неона в газоразрядной лампе). Затем следует процедура измерения относительного положения линий звезды и опорного источника, завершающаяся вычислением лучевой скорости. В общем, работа дорогостоящая и достаточно сложная.

К счастью, появились приборы, автоматически измеряющие смещение линий в «живом» спектре звезды и сразу вычисляющие ее лучевую скорость.

Теперь не требуется фиксировать спектр звезды на фотопластинке, достаточно навести телескоп на звезду, и уже через несколько минут прибор сообщает ее лучевую скорость с точностью до нескольких сотен метров в секунду. В мире таких приборов пока не много, каждый уникален. Тем более приятно, что один из них, созданный А. А. Токовинным, уже несколько лет успешно работает в Государственном астрономическом институте им. П. К. Штернберга. Еще раньше другой подобный прибор, CORAVEL, начали эксплуатировать швейцарские астрономы, которые вместе с американскими коллегами уже несколько лет изучают звездные скопления Плеяды и Ясли. И вот в начале 1990 г. эта группа сообщила, что открытие московских астрономов подтвердилось: Ясли действительно имеют протяженное гало, содержащее множество звезд. Исследование Плеяд еще продолжается, но уже ясно, что и оно обладает звездной короной<sup>1</sup>.

Для своих наблюдений швейцарские астрономы использовали звезды, предварительно отобранные Артюхиной; пропустив через астрометрическое «сито» более 4 тыс. звезд, находящихся в пределах  $4^{\circ}$  от центра скопления Ясли, она отобрала лишь сотню потенциальных членов этого скопления. Измерив теперь их лучевые скорости, швейцарские астрономы определили, что 48 звезд действительно являются членами скопления и по ним можно проследить гало, по крайней мере до расстояния в  $4^{\circ}$  (или 12 пк). Это вчетверо больше того значения, которое традиционно указывалось как радиус скопления Ясли.

Любопытно, что звезд, по цвету и яркости подобных тем 48, что оказались членами гало, в ядре скопления тоже около полусотни. Следовательно, как и утверждали Артюхина и Холопов, в короне скопления звезд не меньше, чем в ядре. А вот насколько больше и где граница короны, еще предстоит узнать.

<sup>1</sup> Mermilliod J.-C., Weis E. W., Duquennoy A., Mayor M. Preprint 49. 1990. Obs. Geneva.



# ТОПАЗ

**В. М. Смертенко,**  
кандидат геолого-  
минералогических наук  
НПО «Кварцсамоцветы»  
Министерства геологии СССР

**Т**ОПАЗ, ставший талисманом последнего месяца осени — ноября, во многих отношениях замечателен. Он красив и в обработанном виде, и в природных кристаллах, одиночных или сросшихся с другими, красив даже в обломках. Этот камень отличает удивительное разнообразие цветов и богатство нежных оттенков, что позволяет разборчивым ценительницам топазов любоваться себе украшение под цвет глаз, волос, тон кожи. Отличные декоративные качества определяют ему почетное место среди традиционных драгоценных ограночных камней, а достаточно высокая твердость делает его долговечным, пригодным для повседневного пользования.

Название «топаз» наиболее прямо связано с греческим *τοπάζος*, однако его происхождение достоверно не установлено. Ясно одно: в отличие от многих самоцветов это название не несет прямой информации о свойствах камня. Вероятно, в обиход термин ввел Плиний Старший, упомянувший в «Естественной истории» о гипотетическом острове «Топазос» в Красном море, на котором древние мореплаватели обнаружили драгоценный камень зелено-желтого цвета. Название острова перешло к самому камню. Но на островах в Красном море, как и на Ближнем Востоке, в Египте и всей Северо-Западной Африке, не известно ни древних, ни открытых в последние века месторождений и даже проявлений ювелирного топаза, так что топазом называли другой

© Смертенко В. М. Топаз.

Обломок крупного зонально окрашенного кристалла топаза. Волыньское месторождение, Украина.



самоцвет, видимо, хризолит, одно из лучших и древнейших месторождений которого действительно находится на о. Зебергед в Красном море<sup>1</sup>.

Вообще, очень долго топазом называли самые разные драгоценные камни, окрашенные в зеленоватые и желтые тона. Как следствие этого в геммологических справочниках встречаются богемский, гавайский, гиацинтовый, дымчатый и восточный топазы, обозначающие соответственно цитрин, зеленый лабрадор, винно-желтый циркон, дымчатый кварц (раухтопаз) и желтый корунд. Перечень этот далеко не полный.

Некоторые исследователи считают, что как драгоценный камень настоящий топаз использовался еще в Древнем Египте<sup>2</sup>. Это маловероятно. Из всех районов древней добычи самоцветов известны лишь единичные месторождения ювелирного топаза в Юго-Восточной Азии. Очевидно, широко распространен он в Европе после великих морских путешествий и колонизации Америки, Южной Африки и Индокитая. Именно там сосредоточено большинство крупных месторождений топаза.

В нашей стране также имеются месторождения топаза. Знаменитые Уральские копи ведут свою историю со второй половины XVII в., когда в густых лесах у казачьей деревни Мурзинка, к востоку от г. Невьянска, обнаружили топазы, бериллы, аквамарины, цветные кварцы и благородные турмалины. Поскольку в те времена находка приличного самоцвета сулила быстрое обогащение, возникло массовое старательство, и уже к началу XVIII в. были открыты многие богатые проявления самоцветов. Названия некоторых копей напоминают о щедрых вознаграждениях добытчиков драгоценных камней — «Трехсотенная», «Тысячница» (то же и в Забайкалье — жила «Миллионная»). Месторождений и прояв-

<sup>1</sup> Смертенко В. М. Хризолит // Природа. 1990. № 9. С. 48—51.

<sup>2</sup> Петров В. П. Рассказы о драгоценных камнях. М., 1985.



Топаз на дымчатом кварце. Мурзинка, Урал.

лений самоцветов на территории нынешней Свердловской области нашли так много, что они составили довольно широкую Мурзинско-Адуйскую самоцветную полосу<sup>3</sup>, протянувшуюся на 80 км.

Позже на Урале топазонные объекты обнаружены в Ильменских горах (конец XVIII в.) и на р. Санарке (XIX в.). Пегматитовые жилы с топазом были выявлены на Адун-Чолоне (начало XVIII в.) и Борщовочном хребте (XIX в.) в Забайкалье. В конце прошлого века открыто Волинское месторождение топазонных пегматитов на Украине, по количеству и качеству добытого ювелирного топаза стоящая в одном ряду с самыми богатыми месторождениями мира.

Топаз можно считать наиболее традиционным в России ограночным камнем. Начиная с XVIII в. с уральских, а затем и забайкальских месторождений поступали богатые партии ограночного топаза и прекрасных коллекционных образцов, высоко ценящихся не только в России, но по всей Европе. Так продолжалось вплоть до 1917 г. Уральские копи прославились прежде всего благодаря трудам А. Е. Ферсмана. После Октября возобновлявшиеся время от времени разведочные работы на уральских и забайкальских месторождениях не были успешными, да и камни сильно упали в цене. Но на Волинском месторождении уже в послевоенный период попутно с кварцем добыто много топазов.

Из ювелирного топаза делают граненые вставки в кольца, серьги, кулоны, броши и другие ювелирные изделия. Традиционные формы огранки — бриллиантовая, хорошо выявляющая игру камня (особенно при бледной окраске), ступенчатая и комбинированная. Особенно эффектно крупные ограненные топазы, используемые в качестве центрального камня в брошах и кулонах вместе с другими самоцветами. Кристаллы топазов

достигают огромных размеров, поэтому удается получить очень крупные ограненные камни, например Г. Смит<sup>4</sup> упоминает голубые топазы массой 5890 и 614 кар. и бесцветные — в 1680 и 1300 кар. На мировом рынке выше всех ценятся красно-фиолетовые и красновато-оранжевые топазы из Бразилии, далее следуют голубые, винно-желтые, дымчато-розовые и чайные камни (цена от 8—10 до 200 долл. за карат). Наиболее дороги камни интенсивной окраски. Немалую ценность представляют также музейные и кабинетные образцы в виде друз с совершенными кристаллами топаза.

Перейдем к характеристике топаза — не плинневского, для которого основным диагностическим свойством был желтый цвет, а настоящего, каким его знает современная геммология. Этот самоцвет — благородная разновидность одноименного минерала из класса силикатов (состав  $Al_2(F, OH)_2SiO_4$ ). Структура топаза, как и всех силикатов, определяется обособленными кремнекислородными тетраэдрами  $SiO_4^{4-}$ , слагающими каркас кристаллической решетки, но алюминий не замещает в тетраэдрах кремний, как в большинстве силикатов, а выполняет роль катиона. Состав благородного топаза отличаются малое количество примесей (железо, магний, титан, кальций, натрий, калий, редко хром) и значительное (до 20 %) содержание фтора.

Кристаллизуется топаз в ромбической сингонии. Хорошо сформированные кристаллы его обычно изометричны. Однако в зависимости от условий роста грани многих простых кристаллографических форм развиваются в разной степени, образуя четыре основных типа кристаллов. Если одинаково сильно развиты грани основных призм и пинакоида при малых размерах граней остальных форм, то кристалл похож на спичечный коробок (мурзинский тип). При сильном сужении вершинного пинакоида сильно развившимися гранями дипирамид кристалл напоминает бочонок (ильменский

тип), а при почти полном отсутствии граней пинакоида и хорошем развитии граней призм и ромбических дипирамид он выглядит как классический кристалл кварца (коростенский тип). Есть также кристаллы, у которых в головке развиты грани диаэдра, покрывающие удлиненные призмы, как двускатные крыши избы. В свое время забайкальские старатели называли их «конские зубья», а сейчас их относят к шерловгорскому типу.

Кристаллы топаза длиной 5—10 см далеко не редкость. Самые крупные, по достоверным сведениям, весили 117 кг. Один из таких гигантов, добытый в Бразилии, достигал в длину 80 см. Второй «рекордсмен» был извлечен из пегматитов Волинского месторождения на Украине. Еще один волинский кристалл-гигант размером  $27,5 \times 38 \times 38$  см и весом более 60 кг хранится в Музее земледелия МГУ.

Весьма крупные кристаллы встречались некогда на Урале и в Забайкалье. Так, на уральской копи Мокруша в 1919 г. добыли кристалл, который весил более двух пудов, а на Борщовочном хребте в 1840 г. — кристалл размером  $19 \times 21$  см и весом свыше 12 кг.

Твердость топаза по шкале Мооса равна 8 — в этом отношении он уступает лишь алмазу, благородным корундам и хризоберилу. Высокая твердость вместе со стойкостью к агрессивным химическим средам позволяет ограненным топазам долго сохранять зеркальный блеск полированных граней. Однако твердость нетождественна прочности. Нельзя сказать, что топаз хрупок, но ему свойственна совершенная спайность по одному из кристаллографических направлений, поэтому его кристаллы способны раскалываться при ударе на правильные пластинки разной толщины. Бездефектные ювелирные кристаллы довольно редко проявляют свою спайность, но все же ронять или сильно ударять их не рекомендуется. И вообще, спайность очень осложняет обработку топаза и может попортить нервы огранщику.

Топаз — довольно тяжелый минерал, несмотря на отсутствие в его составе катионов

<sup>3</sup> Смертенко В. М., Кантарович В. И., Пальмова Н. И. Пегматиты с драгоценными камнями Мурзинско-Адуйского района Урала // Драгоценные и цветные камни. М., 1985. С. 117—135.

<sup>4</sup> Смит Г. Драгоценные камни. М., 1980.

с высоким атомным весом. Высокие плотность и твердость обусловлены плотной упаковкой легких ионов в его кристаллической структуре. Значения плотности из-за ничтожного количества примесей укладываются в очень узкий интервал:  $3,55 \pm 0,03 \text{ г/см}^3$ . По этому показателю топаз уступает лишь гранатам, цирконам, благородным корундам. Особенно тяжел он по сравнению с сопутствующими ему ограночными камнями — бериллами, турмалинами и кварцами. Именно поэтому в конце XVIII в. его прозвали «тяжеловесом». Это свойство влекло за собой порой курьезные применения камня. В 70-х годах, изучая берилл-топазовые пегматиты Урала, мне довелось слышать рассказ о том, что в с. Южаково в избе одинокой старушки геологи обнаружили крупный бездефектный кристалл бледно-голубого топаза с матовыми гранями массой около 3 кг. Он находился в подвале и использовался как гнет для квашения капусты.

Цвет — пожалуй, наиболее примечательное свойство ювелирного топаза, определяющее его высокую декоративность. Удивительно уже само разнообразие цветовых разновидностей топазов: голубые, синие, зеленчатые, желтые, оранжевые, винно-розовые, дымчато-чайные, фиолетово-красные и, наконец, бесцветные. При этом даже в одном камне цвет может иметь много оттенков. Чаще всего в кристаллах топаза бесцветные зоны сочетаются с голубыми, винно-розовыми и желтыми (обычно не более 2 зон).

Нарядность окраски топаза дополняется какой-то особой прозрачностью, называемой кристалльной, а у драгоценных камней — чистотой воды. Кто видел крупные кристаллы хорошо окрашенного ювелирного топаза, вряд ли забудет завораживающее ощущение их чистой прозрачности. Во мне это ощущение живо уже более 20 лет, с той поры, когда впервые разглядывал топазы из уникальной коллекции рудника «Волынский». Представляя себе эти изумительно яркие кристаллы, трудно удержаться от превосходных эпитетов и совсем не хочется вспоминать, что многие

окраски топаза неустойчивы.

Желтые, розовые, дымчато-чайные и голубые топазы постепенно выцветают на ярком солнечном свете, а при нагревании до  $250—500^\circ\text{C}$  быстро обесцвечиваются. Правда, их окраску научились восстанавливать, подвергая кристаллы ионизирующему облучению, благодаря чему был сделан вывод о ее радиационной природе. Это значит, что цвет обусловлен не примесями-хромофорами, как у большинства самоцветов, а наличием электронных и дырочных центров окраски в ионной кристаллической структуре. Отжигом кристаллов устраняют, а облучением восстанавливают дефекты кристаллической решетки и, соответственно, цвет. Управляя отжигом и последующим облучением, можно изменить природный цвет камня, например, из желтых и розовых топазов получить более устойчивые голубые.

Лишь красно-фиолетовый цвет топаза отличается устойчивостью и не исчезает даже при отжиге. Природа этой окраски иная: она обусловлена примесью трехвалентного хрома, замещающего алюминий в кристаллической решетке. Такие топазы в заметных количествах встречаются лишь в окрестностях р. Каменик на Урале и в районе Оуро-Прето в Бразилии. Но если уральские топазы розово-фиолетовые и красно-фиолетовые от природы, то бразильские камни этих цветов получают, отжигая оранжевые и красновато-коричневые кристаллы.

Вдобавок к богатому цвету у топаза довольно высокий показатель преломления —  $1,61—1,638$  (вдоль разных оптических осей), определяющий сильный стеклянный блеск ограненных камней. Но игра их не богата из-за небольшого различия показателей преломления (0,14). Поэтому так трудно добиться декоративности при огранке бледноокрашенных топазов.

Топаз распространен в горных породах главным образом как аксессуарный минерал и генетически связан с гранитами, богатыми кремниевой кислотой, алюминием и фтором — основными компонентами топа-

за. Более того, граниты обеднены кальцием, который, как более сильное основание, легко выиграл бы «соревнование» с алюминием за фтор, дав вместо топаза флюорит.

Аксессуарный топаз, рассеянный в гранитах, и даже породообразующий топаз в грейзенах, слагающих пневматолито-гидротермальные зоны окружающего гранитного интрузива, никогда не образуют крупных кристаллов, которые обладали бы свойствами драгоценного камня. Благородные топазы представлены кристаллами свободного роста. Они неторопливо формируются в достаточно просторных полостях, заполненных постепенно остывающими пневматолитовыми (богатыми газами) и гидротермальными растворами. Такие природные автоклавы возникают в некоторых пегматитах и топаз-кварцевых жилах, рассекающих жесткие грейзеновые породы.

Впрочем, кристаллы топаза встречаются и в иных геологических объектах. Например, на месторождении Томас-Рейндж в штате Юта (США) кристаллы бесцветного, бледно-желтого и голубоватого топаза размером до 15 см извлекали из газовых пустот в кислых лавах. Розово-фиолетовые топазы Кочкарского месторождения на Среднем Урале обнаружены вместе с мелкими зернами кварца в небольших полостях в известняках. Однако все эти экзотические объекты не содержат практически значимых скоплений ювелирного топаза. У объектов же грейзенового типа, которые распространены чрезвычайно широко и местами содержат большое количество кристаллов, другой недостаток: их топазы мелкие и бесцветны. Промышленные месторождения грейзенового типа не известны.

Итак, большинство эндогенных месторождений ювелирного топаза — и, уж конечно, все крупные месторождения — представлены гранитными пегматитами, пространственно и генетически связанными с гранитами малых и умеренных глубин.

По геологическому положению пегматитовых полей, составу и строению продуктивных тел все топазоносные пегматиты

делят на камерные хрусталеносные и миаролоносные (занорышевые)<sup>5</sup>. Камерные пегматиты — наименее глубинные образования, генетически связанные с самыми поздними гранитными интрузивами. Поля этих пегматитов образуются только там, где кровля гранитного массива залегает полого, причем сами продуктивные тела сосредоточены на участках, наименее затронутых тектоникой. Размер таких тел невелик (обычно не более 15—20 м). Состоят они из кварца, альбита и микроклина с добавкой биотита, т. е. почти тождественны по составу материнским гранитам, и имеют, как правило, центральное ядро из крупнокристаллического кварца, окруженное несколькими четко выраженными оболочками, отличающимися по составу.

Камерные хрусталеносные пегматиты обычно содержат одну крупную полость, которая всегда располагается под кварцевым ядром. Размер ее от 0,5—2 м<sup>3</sup> до десятков кубических метров (в зависимости от величины самого продуктивного тела). Например, в отработанной полости одного из топазоносных пегматитовых тел Волынского месторождения я раскопывал, как в большой и высокой комнате.

Стенки полостей в камерных пегматитах обычно сильно изменены процессами гидротермального замещения и растворения, так что на них редко сохраняются друзы кристаллов. Внутри же, среди обломков пород со стенок, встречаются кристаллы кварца и топаза, оторванные от субстрата. Кристаллов топаза, которые сосредоточены в нижней части полости, всегда меньше, чем кристаллов кварца.

Хотя топаз характерен для хрусталеносных пегматитов, месторождений топаза этого типа известно мало. Это Антеро и Вайт в США, Дзунбаин и Горихо в Монголии, Адуң-Челон в Забайкалье и Волынское на Украине. Из них лишь последнее отличается крупными масштабами, уникальными размерами кристаллов и их высокими декоративными качествами. Основная часть топазов Волынского

месторождения обнаружена в элювиальных россыпях и верхних горизонтах, к сожалению, уже отработанных.

Миаролоносные, или занорышевые, пегматиты топаз-бериллового типа формировались на больших глубинах, чем камерные. Они также тесно связаны с гранитами, но обычно локализованы не в самих интрузивах, а в гнейсах и сланцах над ними.

По составу миаролоносные пегматиты отличаются от камерных: в них больше мусковита, замещающего биотит, и альбита, замещающего микроклин. Для их внутреннего строения также характерна зональность, но кварцевое ядро присутствует далеко не всегда. Преобладающую часть тела обычно составляет графический пегматит, включающий в себя зоны, линзы и гнездообразные обособления крупнокристаллического кварца-микроклинового пегматита. Именно к последним приурочены многочисленные миароловые полости. Протяженность продуктивных тел здесь достигает многих сотен метров, мощность — 20 и даже 50 м. В таких крупных телах число полостей с кристаллами может исчисляться десятками. Размер полостей, имеющих преимущественно каравееобразную или шелевидную форму, обычно небольшой — 0,3—1 м<sup>3</sup>, но встречаются пустоты до 10 м<sup>3</sup> и более. По данным Ферсмана, на уральской копи «Старцева яма» была отработана полость размером 5×1×2 м.

Стенки миароловых полостей почти сплошь выстланы кристаллическими друзами, поэтому их часто называют друзовыми полостями. В друзовый комплекс входят кристаллы микроклина, дымчатого кварца, мусковита, лепидолита, шерла, топаза, аквамарина, берилла, турмалина, а также радиально-лучистые агрегаты клевеландита. Помимо самоцветов как таковых большую ценность представляют и аккуратно отделенные от стенок полостей великолепные по композиции и цветовой гамме друзы минералов. Убедиться в этом можно, посмотрев штUFFы из уральских копей в экспозициях Минералогического музея АН СССР или Свердловского горного института. В них среди

других самоцветов сияют совершенные по окраске, чистоте и окраске кристаллы топаза.

С миаролоносными пегматитами связаны самые крупные в мире месторождения ювелирного топаза. Они известны в Бразилии, США, на Мадагаскаре. Наши уральские и забайкальские месторождения также следует отнести к крупным, так как они разрабатывались длительное время и дали немало прекрасного ювелирного и коллекционного материала.

На мировом рынке самоцветов ювелирный топаз и коллекционные образцы с топазом не переводятся. В основном они поступают из Бразилии, лидирующей по добыче топазов. Жители «загнивающего» капиталистического Запада (да и Востока), родившиеся в ноябре, могут при желании получить свой камень-талисман. В нашей стране немного ювелирного и коллекционного топаза добывают попутно с кварцем на одном единственном Волынском месторождении. Специалистами подготовлены к разработке месторождения ювелирного и коллекционного сырья на уральских копях «Мокруша» и «Голодная», но они «заморожены», как и большинство наших разведанных месторождений самоцветов. Стало быть, и топаз у нас в большом дефиците, даже если не оправлен в драгоценные металлы ажиотажного спроса. Остается надеяться на радикальную экономическую реформу: может быть, хоть она позволит советским гражданам познакомиться поближе с самоцветами-талисманами, и в частности с топазом, который, как верили в старину, отгоняет от человека гнев, освобождает от власти буйных и опасных страстей, поселяет в нем устойчивое и безмятежное наслаждение жизнью.

<sup>6</sup> Смертенко В. М., Саблина И. И., Егорова Н. В. Методические указания по поискам и перспективной оценке месторождений цветных камней. Берилл и топаз. Вып. 7. М., 1975.

<sup>5</sup> Ферсман А. Е. Избранные труды. Т. 7. М., 1962.



## КАЧЕСТВО ВОДЫ - КАЧЕСТВО ЖИЗНИ

"БИОТЕСТЕР" - прибор для экспресс-анализа токсичности водных сред.

Назначение: оценка токсичности воды по совокупности примесей (соли тяжелых металлов, инсектициды, пестициды и др.).

Объекты анализа: питьевая вода, природные водоемы, сточные воды, вытяжки из почв, пищевых продуктов, лекарств.

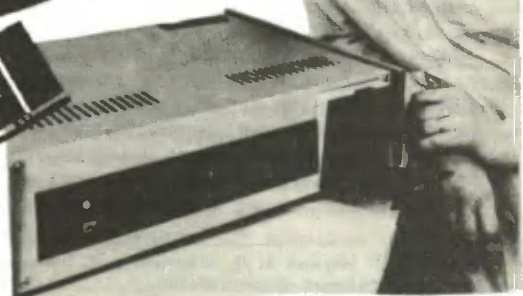
объем испытуемой пробы - 1-2 мл  
производительность - 10-15 проб/час  
чувствительность - на уровне ПДК  
вес прибора - 5 кг  
поставка в течении 2-х месяцев после заявки

*Адрес изготовителя: 195273, Ленинград,  
пр. Непокоренных, 74, Государственный  
научно-технический центр "КВАНТ"  
телефон: 538 36 02  
факс: 538 48 26*



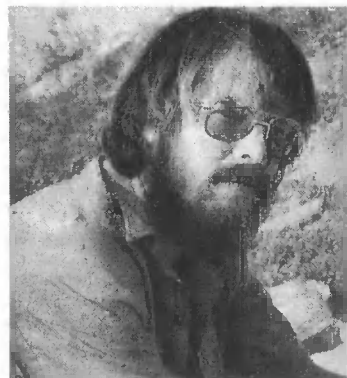
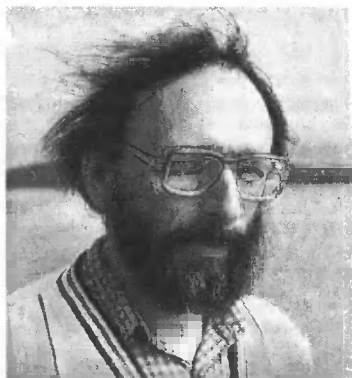
К/В/А/Н/Т

КВАНТ  
КВАНТ



**В. В. Луканин,  
А. Д. Наумов,  
В. В. Федяков**

# Поселения мидий: постоянное непостоянство



**Владимир Васильевич Луканин**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Беломорской биологической станции Зоологического института АН СССР. Занимается экологической физиологией и экологией сцифонидных медуз и морских двустворчатых моллюсков.

**Андрей Донатович Наумов**, кандидат биологических наук, научный сотрудник того же института, специалист по зоологии беспозвоночных. Область научных интересов — изучение систематики и экологии двустворчатых моллюсков Северного Ледовитого океана. Автор книги: Зоологические экскурсии на Белом море (в соавторстве с А. В. Оленевым). Л., 1981.

**Вячеслав Викторович Федяков**, кандидат биологических наук, научный сотрудник Беломорской биологической станции, гидробиолог. Занимается экологией и систематикой моллюсков северных морей. В «Природе» опубликовал (в соавторстве с А. Д. Наумовым) статью «Двустворчатые моллюски Арктики» (1987, № 3).

**В** ПРИРОДЕ все непрерывно меняется. Одни виды расселяются, ареал других сокращается; леса наступают на луга; биоценозы сменяют друг друга. Эти процессы давно изучаются, причем пальма первенства в исследованиях такого рода принадлежит геоботанике. Это и понятно: наземные биоценозы исключительно важны для практики и легкодоступны. Именно поэтому целый ряд важнейших биологических явлений открыт и описан благодаря изучению растительного покрова, разработана также и теория сукцессий — закономерной смены биоценозов.

Морским сообществам повезло меньше, поскольку велики сложности, сопровождающие длительные и регулярные наблюдения. Между тем нет никаких оснований считать, что в море действуют иные закономерности, чем на суше. Более того, поскольку огромное количество морских животных

ведет крайне малоподвижный образ жизни, а то и вообще намертво прикрепляется к грунту, донное население во многих отношениях напоминает растительный покров.

И все же мы сочли необходимым проверить на конкретном материале, действительно ли между морскими и наземными экосистемами нет заметных различий. Объектом изучения мы избрали съедобную мидию (*Mytilus edulis*), постоянные стационарные наблюдения проводили на Беломорской биостанции нашего института.

## КЛАССИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И ОБНАРУЖЕННЫЕ ПРОТИВОРЕЧИЯ

Почему именно съедобная мидия стала объектом наших исследований? Среди двустворчатых моллюсков отечественных северных морей, пожалуй, нет такого, который был бы изучен лучше нее. Это и неудивительно. В донных биоценозах Белого моря ее численность достигает  $4 \times 10^{12}$  особей, а биомасса — около 2 млн т. За год эти

моллюски выделяют в морскую воду примерно 50 млн т органических веществ и потребляют 17,5 млн т кислорода. Чтобы получить этот кислород и взвешенную в воде пищу, мидии профильтровывают огромные объемы воды — за год около 5 тыс. км<sup>3</sup> — почти объем Белого моря.

Сквозь мантийную полость мидии пропускают лишь небольшую поверхностный слой прибрежных вод, но зато он проходит через их фильтрующий аппарат неоднократно. Кроме питательных веществ из воды извлекается механическая взвесь, которая, пройдя сквозь кишечник моллюска, попадает в особую слизистую капсулу. Псевдофекалии (так называют эти капсулы) опускаются на дно и включаются в состав донных осадков. Роль мидий в биологической очистке моря не требует комментариев. Наконец, мидии, поселяющиеся плотными скоплениями (на 1 м<sup>2</sup> дна бывает до нескольких тысяч особей), формируют лицо донного сообщества, и вокруг них концентрируются другие виды животных, создавая весьма характерный биоценоз. Ясно, что животное, играющее столь важную роль в морских экосистемах, не могло остаться без внимания исследователей.

Мы приступили к изучению биоценозов, формируемых мидиями, многим казавшемуся бесперспективным, так как считалось, что популяции этих моллюсков достаточно полно описаны в классических трудах Е. Ф. Гурьяновой, П. В. Ушакова, З. Г. Паленичко и других исследователей. Судя по этим работам, мидии встречаются преимущественно на камнях, к которым прикрепляются прочными шелковистыми нитями — биссусом, поэтому взрослые моллюски не способны перемещаться. На литорали они обитают в биоценозе бурых водорослей (фукоидов) и лишь изредка превосходят их биомассой. В сублиторали (в промежутках между островами и в открытом море) живут на глубинах до 3—5 м, образуя плотные скопления (банки), где их биомасса превышает биомассу других организмов, как минимум, на порядок.

Из-за однотипности поселений моллюсков на всей акватории моря долгое время казалось, что мидиевые банки неизменны в пространстве и во времени. А из этого следует, что в популяции частотное распределение особей по размерам должно иметь вид гиперболы. И в самом деле, мидии не способны заботиться о потомстве, они просто выметывают в воду несметное количество (несколько миллионов каждая) яиц. Если молодь оседает в поселениях взрослых животных, численность мелких особей даже при высокой смертности на ранних стадиях онто-

генеза должна преобладать, следовательно, кривая размерного распределения неминуемо будет представлять гиперболу. Между тем во многих пробах мологи не оказывалось, но для этого исследователи находили некие объяснения; чаще всего считалось, что личинки оседают по периферии поселения, а пробы взяты из центральной части, куда мигрируют моллюски старших возрастов. Правда, трудно было понять, как совершенно неподвижные, прикрепленные ко дну взрослые мидии (такой взгляд устоялся среди специалистов) могли все же перемещаться.

Однако в 70-х годах начали накапливаться и другие факты, которые не укладывались в классическую схему. Так, в Белом море были обнаружены многочисленные поселения на илах и песках (а не на камнях), где моллюски скреплены между собою биссусом и почти полностью погружены в грунт; найдены банки в устьях рек и ручьев на глубине до 15 м, участки песчаной и илистой литорали, где биомасса мидий, как и в сублиторали, в 10 раз выше биомассы всех других организмов, в том числе и фукоидов. Однако то все же были частности, еще раз подтверждавшие широкие адаптивные возможности мидий. На общие представления об их биоценозах они не влияли.

Но исследования 70-х годов принесли и другие, очень важные результаты. Перед временем не устояло постоянство мидиевых банок: описанные в 50—60-х годах, они исчезли к 70-м. Такая судьба постигла крупнейшее поселение мидий в Онежском заливе у берегов Кондострова — экспедиция 1979 г. (т. е. через 15 лет после последних сборов) застала занесенный песком мощный слой черного ила с сильным запахом сероводорода.

Выяснилось также, что истинная картина размерно-частотного распределения мидий в поселениях не соответствует представлениям о демографии популяций мидий: на многих банках, образованных крупными моллюсками, молоди не было и на периферии. Подобные факты отмечались и в зарубежной литературе, но они настолько противоречили традиционным взглядам на размерную структуру популяций животных, не способных заботиться о потомстве, что многие специалисты по экологии морских организмов сочли данные наблюдений результатом некорректного сбора материала<sup>1</sup>.

Со временем такие результаты накопились во множестве, и принцип неизменности поселения мидий во времени пошатнулся.

<sup>1</sup> Seeed R. Ecology. Ch. 2. // Marine mussels. Their ecology. Cambridge, 1976.



Съедобная мидия — один из самых многочисленных двустворчатых моллюсков Белого моря.

Здесь и далее фото М. В. Темного.



Грозный враг мидии — морская звезда. Чаще всего она нападает на моллюсков, расположившихся на краю поселения.

Стало ясно, что для разрешения накопившихся противоречий необходимы регулярные наблюдения на одних и тех же банках. Их мы и начали в 1981 г. в пяти местах Кандалакшского залива и продолжаем до сих пор.

## ПОСТОЯННОЕ НЕПОСТОЯНСТВО

Каждый из объектов имел свои особенности: в Чупинской губе на обсыхающем участке Иванова наволока было литоральное поселение; в узкой части губы Падан — типично морское; в устье Умбы — глубоководная эстуарная банка и два поселения (одно на илистом грунте, другое — на каменистом) — в сублиторали губы Княжой.

Проанализировав результаты 8-летних наблюдений, мы поняли, что в Белом море существуют 4 размерно-частотных типа в популяциях мидий, иными словами, 4 типа развития их поселений: два чаще всего встречаются на литорали и два — по преимуществу на сублиторали.

На литоральной банке Иванова наволока среднегодовая размерная структура (которую мы обозначали как первый тип) мидий за время исследований оставалась постоянной, а кривая распределений имела, в соответствии с теорией, вид гиперболы. Строго говоря, такое распределение наблюдалось лишь осенью, сразу после оседания молодежи. Рост моллюсков и интенсивная гибель молодых особей к началу следующего лета меняли размерную структуру поселения, она переходила ко второму типу, который характеризовался преобладанием мидий от 5 до 10 мм и низкой долей более мелких экзем-





Банка мидий. В таких плотных поселениях биомасса может достигать 50 кг/м<sup>2</sup>.

пляров. Сезонное чередование этих типов распределений оказалось общим почти во всех литоральных поселениях мидий. Именно такое постоянство обнажающихся в отлив и потому наиболее доступных исследователям биоценозов в немалой степени способствовало формированию классических представлений.

На остальных участках, расположенных в сублиторали, временной неизменности мидиевого биоценоза не было и в помине.

В 1981 г. на каменистом грунте в губе Княжой мы застали банку с размерной структурой, отвечающей второму типу — в ней преобладали особи рождения 1980 г. До осени 1986 г. поселение не пополнялось молодеью, и размерная структура популяции постепенно перешла в третий тип: к лету этого года были в основном 6-летние моллюски размером около 30 мм. Образовался биоценоз без молодежи, в реальность которого до недавнего времени трудно было поверить. Осенью на банку осели мириады личинок, и в следующем году структура популяции ничем не отличалась от той, которую мы застали пять лет назад. Цикл замкнулся, и все началось сначала.

Банка в губе Падан оказалась очень похожей на поселения в Княжой, с той разницей, что новое поколение моллюсков появлялось задолго до гибели предыдущего. В результате большую часть времени график

размерного распределения мидий имел два пика.

Поселение в устье Умбы в 1981 г. находилось в начале фазы деградации. Каменистый желоб, представляющий собой продолжение русла, был устлан сплошным ковром мидий среднего размера (около 25 мм), структура поселения отвечала третьему типу. Молодь не появлялась несколько лет, взрослые моллюски старели и погибали. В 1986 г. на умирающее поселение напали морские звезды, и к следующей весне оно прекратило свое существование, но осенью появилась первая молодежь — банка начала восстанавливаться.

На заиленном участке Княжой губы события были сходными, но деградация банки протекала значительно медленнее, видимо, из-за того, что смертность моллюсков в Княжой ниже, чем в Умбе, благодаря влиянию пресного стока.

Итак, поселения мидий рождаются, развиваются, живут и умирают подобно живому организму, имеют свой жизненный цикл. Законы, по которым он протекает, сейчас не вполне ясны, представим пока характеристику каждого цикла.

Самый простой и короткий цикл жизни биоценоза — на прибойной скалистой литорали и на пологом берегу, заросшем нитчатыми водорослями. Здесь оседает громадное количество молодежи, однако существует такое поселение весьма недолго: на скалах оно уничтожается плавающими льдами в начале ледостава, а на пляжах исчезает в ноябре — декабре, когда гибнут водоросли.

Нулевая стадия цикла, на которой мидий нет, длится от 6 до 9 мес и переходит в первую, протекающую за 3—6 мес. Такие поселения, строго говоря, нельзя даже назвать популяциями, так как моллюски не только не размножаются, но и не доживают до половозрелости. Эта популяция-призрак ежегодно возникает заново за счет привноса посторонних личинок.

На жестких грунтах, где поселения не уничтожаются каждый год внешними воздействиями, развиваются довольно стабильные литоральные банки, на которых, в зависимости от сезона, размерная структура соответствует либо первому, либо второму типу. Поселение, раз возникнув, может существовать неограниченно долго, ежегодный возврат к нулевой стадии совершенно не обратен. Первая и вторая стадии длятся, соответственно, 9 и 3 мес, так как молодь гибнет в основном из-за весеннего опреснения, и переходят одна в другую. Мидии в таком поселении достигают половозрелости и размножаются, однако доля взрослых особей здесь невелика, фактически это «вечно» юная популяция.

В сублиторали в местах со слабыми придонными течениями цикл развития мидиевых банок гораздо сложнее. Здесь продолжительность нулевой фазы зависит от интенсивности придонных течений: чем они сильнее, чем быстрее вымываются илы, накопленные прежним населением, тем скорее оседает молодь. Затем несколько лет первая и вторая стадии переходят друг в друга, подобно жизненному циклу поселений на жестких грунтах литорали. Однако морское дно никогда не обнажается в отлив, и потому условия обитания более благоприятны для выживания большего количества моллюсков, чем на осушаемой полосе. В результате возникает плотное поселение относительно крупных моллюсков, а молодь перестает оседать на банку. Чем это вызвано, сказать пока трудно. Возможно, взрослые мидии выделяют в воду какие-то репелленты, отпугивающие молодых<sup>2</sup>. Вероятно также, что плотно поселившиеся моллюски, фильтруя воду, просто механически губят личинок или, не отличая от механической взвеси свою молодь, включают ее в состав псевдофекалий и навсегда хоронят в иле. Какие бы причины ни останавливали пополнение популяции, во всяком случае, оно не связано с малочисленностью личинок в планктоне: если

над такой банкой на расстоянии более 50 см создать искусственный субстрат, молодь садится в огромном количестве. По истечении нескольких лет популяция мидий переходит в третью стадию, на которой банку образуют взрослые моллюски. В этой стадии популяция пребывает вплоть до естественной гибели мидий от старости. Цикл замыкается. Время существования поселений такого типа определяется продолжительностью жизни моллюсков в биотопе плюс несколько лет, приходящихся на поочередную смену первой и второй стадий.

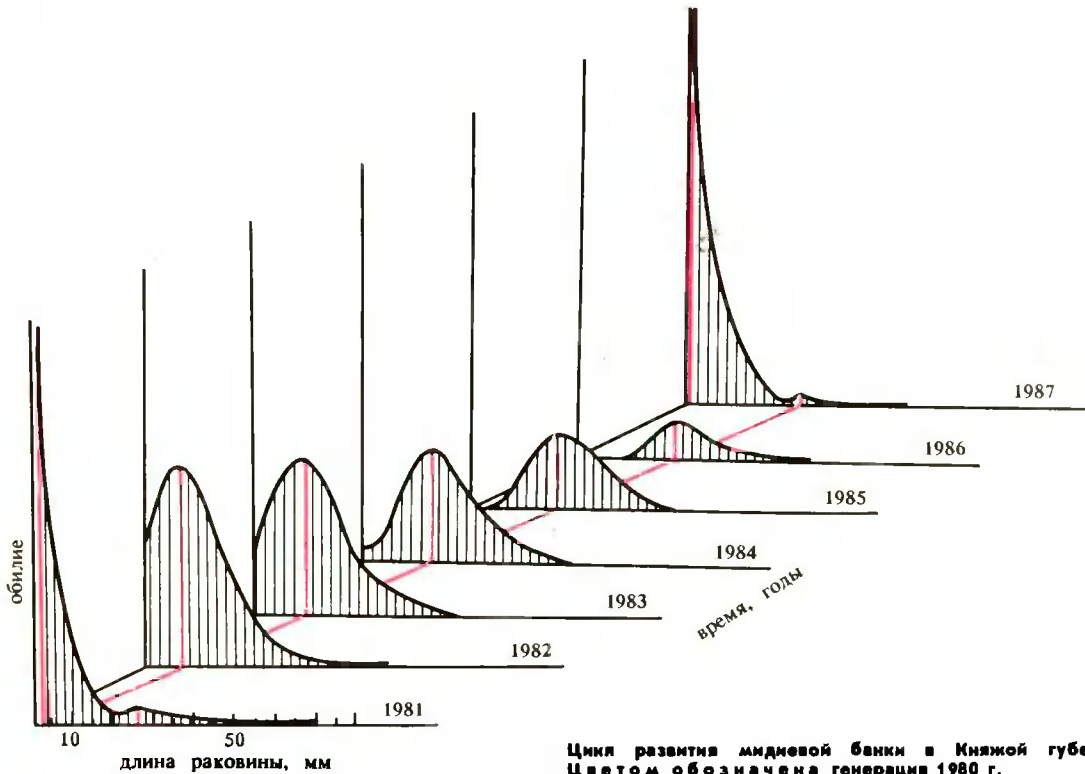
Следующий, и последний, тип развития поселений мидий также характерен для сублиторали, но, в отличие от предыдущих, свойствен, как правило, для мест с высокими скоростями придонных течений. Банки и этого типа не проходят многократно через нулевую стадию, так как течения интенсивно размывают накопившийся ил, как только поселение начинает вымирать, а также уносят выделяемые мидиями репелленты. В результате на еще не погибшей банке создаются условия, благоприятные для оседания молодки, наступает первая, за ней вторая стадия развития популяции, так же как во втором и третьем типах, сменяющие друг друга. Затем возникает весьма стабильное поселение, в котором последовательно чередуются третья и четвертая стадии. Продолжительность всего цикла в различных местах может колебаться от 6 и, видимо, до 12 лет (по расчетам, ибо длительность наших наблюдений всего 8 лет).

Итак, каждый тип развития популяций съедобной мидии представляет собой цикл разной степени сложности и разного срока существования. Постулируемая ранее неизменность поселений этих моллюсков оказалась несостоятельной.

## СЛОЖНАЯ ЖИЗНЬ МИДИЕВОЙ БАНКИ

Поселения мидий — это биоценоз, включающий и других обитателей моря. Мы обнаружили несколько десятков видов животных и растений, но лишь пять видов встречались в более или менее значительных количествах. Это многощетинковый червь нересис (*Nereis virens*), усоногий рачок морской жемчужницы (*Balanus crenatus*), равноногий рачок йэра (*Jaera albifrons*), морская блоха бокоплав (виды рода *Gammarus*) и морская звезда (*Asterias rubens*). Правда, последняя непосредственно на банке не встречается, а образует довольно значительные скопления, собираясь на узкой полосе вдоль нижнего края поселения мидий, и здесь поедает моллю-

<sup>2</sup> Уже появились сведения о выделяемых взрослыми двусторонними моллюсками веществах, регулирующих оседание и метаморфоз личинок своего вида. См.: H a d f i e l d M. G. // Bull. Mar. Sci. 1986. Vol. 39. № 2. P. 418—425.



Цикл развития мидиевой банки в Княжьей губе. Цветом обозначена генерация 1980 г.

сков, по тем или иным причинам оказавшихся вне границ банки.

Связана ли жизнь соседей с теми процессами, которые проходят на банке? Связана, но проследить эту связь не всегда удастся. Так, мы пока не можем найти разумного объяснения данным, полученным по йзре и бокоплавам. Интересную зависимость мы обнаружили в поселении мидий на каменистом грунте в Княжьей губе. Оказалось, что в этом биоценозе изменения плотности нериса и морского желудя неразрывно связаны с процессами, происходящими в популяции мидий. В начале наших наблюдений то была довольно немногочисленная популяция в основном из крупных 5—6-летних мидий, расположившихся на гравийно-песчаном дне между камнями. Створки раковин взрослых моллюсков были усеяны ребристыми домиками морских желудей и напоминали причудливые кораллоподобные друз; а мелкие черные раковинки молодки мидий, как мак, обсыпаны белоснежными известковыми постройками белянусов. Их биомасса лишь немногим уступала биомассе мидий, поэтому биоценоз следовало бы назвать мидиево-белянусовым. Нериса тогда на банке почти не было.

На следующий год произошли разительные перемены: молодые мидии сидели на грунте, а от удивительных сооружений белянусов почти ничего не осталось. Чем объяснить столь катастрофическую гибель морских желудей? Возможно, при росте молодки мидий перекрывались входы в домики рачков и затруднялось их питание. Какой бы ни была причина их гибели, произошла смена биоценоза, он оказался чисто мидиевым.

Шли годы, на банке продолжались изменения. Постепенно песчаная подстилка покрылась слоем ила из псевдофекалий, сложились условия, благоприятные для появления ползающих в толще грунта многощетинковых червей. Лидировать стал нерис, к пятому году наблюдений его биомасса достигла почти 20 % от биомассы мидий. Биоценоз превратился в мидиево-нерисовый.

Все это время мидии интенсивно росли, и, хотя плотность их поселения постепенно снижалась за счет естественной смертности, биомасса неуклонно увеличивалась. Однако на шестой год и она пошла на убыль, началась деградация банки. Значительные участки морского дна освободились от плотного покрова из моллюсков, и придонные течения



начали размывать ил, количество нериса сразу стало снижаться. Интересно, что створки повзрослевшего и состарившегося поколений снова покрылись друзами баянусов. За последние два года практически полностью восстановился биоценоз 1981 г., цикл его смены замкнулся.

Сходную, но не аналогичную картину мы наблюдали в устье Умбы, где вот-вот должна была начаться деградация банки. В поселении на каменистом ложе реки, устланном сплошным ковром относительно крупных моллюсков, встречалось много сопутствующих видов, но ни один не мог претендовать на роль субдоминантного из-за слишком малой биомассы. По мере роста мидий и заиления грунта появились зарывающиеся формы, в мидиевом покрове стали возникать проплешины. К осени шестого года на банке появилась молодь морской звезды, и это решило судьбу осевших наконец личинок — к весне банка погибла: на дне — масса мертвых раковин мидий, заполненных черным, отравленным сероводородом, илом, полуразложившиеся трупы морских звезд. От былого разнообразия видов не осталось и следа, обитали только круглые черви — нематоды. Таким образом, и здесь заметна циклическая смена биоценозов, причем в один из них мидия не входит вовсе.

С каким же явлением мы столкнулись? Последовательное замещение одного биоценоза другим (сукцессия), имеющее вполне закономерный характер, заканчивается стабильным состоянием — климаксом. Что же следует считать сукцессией, что климаксом из тех состояний морских биоценозов, которые мы наблюдали? Ведь ни одно из состояний нельзя считать окончательным, бесконечна ли это циклическая сукцессия или своеобразный климакс? Скорее всего, мы встретились с новым, еще не вполне исследованным явлением, которое мы предложили бы назвать автоциклическостью. «Авто» — потому, что в ее основе лежит динамика численности руководящего вида, основанная не на влиянии внешних условий, а на биологических особенностях цикла развития его плотных поселений. Хорошо известно, что плотность населения и общая численность отдельных видов животных подвергаются периодическим колебаниям, приме-

ров тому бесчисленное множество — демографические взрывы у леммингов и других грызунов, колебания численности в системах хищник — жертва и паразит — хозяин. Эти системы послужили даже основой для многочисленных работ по математическому моделированию взаимоотношений между видами. Но нам не приходило в голову встречать работ, где описывалась бы закономерная циклическая смена биоценозов, обусловленная динамикой численности единственного вида.

Между тем трудно предположить, что описанная регуляция численности и связанная с ней смена лика биоценоза — привилегия одной мидии. Скорее всего, обнаруженное явление распространено гораздо шире, чем кажется на первый взгляд. Некоторые факты, вскользь упоминаемые в научной литературе, и наблюдения наших коллег в разных морях подтверждают это, но для серьезного обсуждения фактов не хватает.

Все же нас питает надежда, что более надежная информация не за горами. Ведь еще 10 лет назад никому и в голову не приходило, что мидиевая банка живет такой сложной жизнью, ее открыли систематические наблюдения поселений мидий. К сожалению, такие исследования еще очень немногочисленны, чаще всего морской биолог бывает единожды в одном и том же месте. Естественно, что вскрыть особенности многолетней динамики при этом не удается. Еще хуже, если исследователь попадает на старое место через 10—15 лет: обнаружив изменения, он чаще всего приписывает их загрязнению, антропогенному воздействию или глобальным катастрофам. Нельзя отрицать таких возможностей, но нельзя забывать и о закономерных автоциклических процессах, скрытых от глаз специалиста, если его наблюдения случайны или проводятся с большими перерывами. Только тщательные систематические исследования в течение многих лет способны пролить свет на проблему, о которой столетие назад Ч. Дарвин писал: «Изобилие или малочисленность данного вида определяются вообще причинами, которые совершенно не поддаются нашей оценке»<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Дарвин Ч. Сочинения. Т. I. М.—Л., 1935. С. 605.

# Советская психиатрия возвращается в мировое сообщество

Б. П. Калачев,  
доктор медицинских наук  
Всесоюзный научный центр наркологии МЗ СССР

**VIII** КОНГРЕСС Всемирной психиатрической ассоциации (ВПА), состоявшийся в 1989 г. в Афинах, стал важным событием в истории отечественной психиатрии. В 1983 г. в ответ на обвинения советских врачей в злоупотреблении психиатрией в политических целях Всесоюзное научное общество психиатров заявило о выходе из ВПА. И вот 7 лет спустя советские психиатры впервые вновь участвовали в столь представительном международном форуме. Вернуться в мировое сообщество оказалось труднее, чем выйти. Несколько крупнейших национальных обществ, в том числе американское, английское и некоторые другие, а также Международная ассоциация по предупреждению злоупотреблений психиатрией в политических целях резко возражали против того, чтобы принимать обратно «блудного сына».

Только после оглашения специального заявления Всесоюзного психиатрического общества наше членство в ВПА было условно восстановлено. (Условно, потому что Генеральной ассамблее ВПА предоставлено право приостановить его, не дожидаясь решения конгресса, если будут выявлены новые злоупотребления.) В заявлении признаются существовавшие ранее злоупотребления по причинам немедицинского, в том числе политического, характера, которые впредь будут рассматриваться при участии ВПА; члены Обзорного комитета ВПА приглашаются посетить нашу страну с целью контроля.

Разумеется, 8,5 тыс. делегатов более чем из 80 стран собрались отнюдь не только для выяснения отношений с советской психиатрией. Обсуждался широкий круг научных проблем клинической, биологической, со-

циальной психиатрии, использования достижений молекулярной генетики. Особое внимание привлекли сообщения по наиболее традиционному направлению психиатрии XX в. — психотерапии.

Большой интерес вызвали, в частности, сообщения греческих психиатров об использовании психотерапии в борьбе с последствиями многолетнего применения нейролептиков, препаратов лития, электрошока и других распространенных в современной психиатрии средств. Известно, что длительные курсы такого лечения серьезно деформируют личность пациента: эмоциональные реакции тускнеют, притупляются настолько, что это само по себе принимает характер заболевания. Используя особые формы медитации (умственного действия, приводящего психику человека в состояние сосредоточенности и углубленности на мысли, образе и т. п.), развивая у пациентов способность вызывать в сознании зрительные образы различных явлений, в том числе и таких абстрактных понятий, как «справедливость», «свобода» и др., удавалось восстанавливать их эмоциональный мир настолько, что они вновь могли нормально работать, учиться, жить в семье.

Ряд докладов был посвящен так называемой «краткосрочной психотерапии» — четырех-шестимесячным курсам преимущественно в форме групповых сессий. Успех лечения, по мнению докладчиков, в значительной мере связан с использованием достижений психоанализа при решительном отходе от ряда его догм. Так, в отличие от классических представлений З. Фрейда, предполагается, что больной, обращаясь к врачу, в значительной степени осознает источник своих конфликтов, а сами они должны изживаться одновременно на познавательном и эмоциональном уровнях.

Познавательная (когнитивная) психотерапия оказалась весьма эффективной при лечении многих расстройств, в том числе шизофрении. Швейцарские психотерапевты разработали специальную программу коррекции нарушенных процессов познания у больных шизофренией. Более того, выяснилось, что процедуры и курсы когнитивной терапии настолько жестко структурируются, формализуются и программмируются, что при подготовке специалистов-психотерапевтов можно использовать, к примеру, видеокассеты и даже компьютерные программы. В докладах сообщалось об опыте успешной подготовки врачей с использованием такого рода технических средств обучения.

Дальнейшая разработка методов психотерапевтического лечения, видимо, откроет новые пути борьбы не только с такими недугами, как шизофрения, депрессивные психозы, функциональные расстройства, но и с алкоголизмом, наркоманией, особенностями поведения в экстремальных ситуациях и, возможно, отдельными видами преступности.

Здесь уместно было бы сказать о том, что к проблемам психиатрии в СССР все больше привлекается внимание широкой общественности. На базе Всесоюзного научного центра психического здоровья АМН СССР создается Ассоциация психического здоровья и помощи психически больным — самоуправляемая автономная общественная организация. Впервые наряду с врачами в нее войдут родственники больных и общественные деятели. Ассоциация должна возродить традиционно доброе отношение к душевнобольным, которое всегда было характерно для русского народа. От активности организаторов и поддержки общественности зависит будущее ассоциации.



Идея подготовить подборку материалов, предлагаемую вниманию читателей, возникла давно, но в твердое намерение превратилась лишь после I Международной рабочей встречи по тяжелым авариям на АЭС, организованной Институтом проблем безопасного развития атомной энергетики АН СССР по инициативе Ядерных обществ СССР и США. Около недели 80 ведущих специалистов из разных стран обсуждали причины и ход аварии на Чернобыльской АЭС, меры по преодолению ее последствий и прогнозы на будущее. Из долгих и напряженных споров (советские участники порой были в них даже откровеннее зарубежных) стало ясно, насколько сложные научные и технические проблемы возникали в ходе работ, получивших хотя и неудачное, но уже закрепившееся название «ликвидация последствий аварии». И то, что на некоторые вопросы найти окончательные ответы пока не удалось, перестало удивлять или расцениваться как нежелание ученых сказать правду.

В последнее время в нашем обществе набирают силу антисциентистские настроения, а то и откровенные попытки обвинить науку и ученых в большинстве сегодняшних бед. Одним из поводов к этому стала чернобыльская катастрофа, после которой многие взяли на вооружение лозунг: «Наука привела к Чернобылю и должна ответить за это». Но, хотелось бы возразить, ведь именно наука помогла и помогает бороться с его последствиями, а эта сторона дела, в сущности, остается вне поля зрения общественности. Если в первые месяцы после аварии пресса изобиловала по необходимости краткими и не всегда вразумительными заметками о действительно героических усилиях эксплуатационного персонала, военных, строителей, ученых по уменьшению масштабов бедствия, то через пару лет, когда напряжение спало и, главное, сквозь завесу секретности прорвалась правда о положении в зараженных радиацией районах, эта тема стала совсем непопулярной, а всякое упоминание об ученых-ядерщиках в связи с Чернобылем приобрело почти ругательный характер. Но чтобы выработать объективное отношение к науке после катастрофы на Чернобыльской АЭС, нужно знать не только причины аварии, но и роль науки в ликвидации ее последствий. Казалось, статей нескольких участников работ на ЧАЭС будет достаточно, чтобы досадный пробел заполнился и все встало на свои места.

Однако проблема «наука и Чернобыль» оказалась слишком сложной, многоплановой и противоречивой, чтобы решить ее с такой легкостью. Детальный анализ и самой аварии, и мер по борьбе с ней еще не завершены. И хотя одного описания проделанных работ уже хватает, чтобы понять неправомерность огульной критики принятых тогда решений, которую задним числом позволяют себе даже неспециалисты, окончательные и подробные выводы впереди. Так что пока лучше не расставлять оценки, а просто рассказать о научной работе, которая шла в Чернобыле четыре года после взрыва. Из множества важных вопросов для подобного обсуждения мы выбрали три самых крупных в области физики: нынешнее понимание аварии, борьба с угрозой попадания ядерного топлива в грунт, настоящее и будущее Саркофага. А открывает подборку более широкий обзор задач, возникших перед учеными после аварии, который дан в беседе председателя Межведомственного координационного совета при АН СССР по проблемам, связанным с ликвидацией последствий аварии на Чернобыльской АЭС, академика С. Т. Беляева с нашим корреспондентом Г. М. Львовским.

# Ликвидация последствий чернобыльской катастрофы: слухи и факты



Спартак Тимофеевич Беляев, академик, заместитель директора Института атомной энергии им. И. В. Курчатова, директор отделения ядерной физики этого института. Специалист в области теоретической ядерной физики, квантовой теории многих тел и теории ускорителей.

— Спартак Тимофеевич, как известно, сразу же после аварии в Чернобыль прибыли не только руководители высокого ранга и военные, но и ученые. Какова была роль науки в проведении работ на разрушенном блоке, какую долю ответственности она несет за решения (правильные или не вполне), принятые там после 26 апреля!

— Не согласен с самой постановкой вопроса. Во-первых, надо отделить науку от принятия решений. Истинная наука производит знания, устанавливает факты и отвечает только за их достоверность, но никогда никаких решений не принимает. И лишь в силу социального невежества нашего общества на науку и ученых вешают все грехи. Но в чрезвычайной ситуации Чернобыля трудно отделить науку от принятия решений — многие действия там одновременно преследовали и научно-технические, и политические цели.

Во-вторых, следует избегать еще одной путаницы: есть наука, а есть люди в науке. Люди в науке имеют свои интересы — научные и политические, групповые и личные — и могут по-разному использовать те данные, достоверные или не очень, которыми распо-

лагают. Поэтому нужно различать, что есть наука, а что делается людьми науки.

К примеру, сейчас очень сложное положение с научной или даже околонаучной информацией о Чернобыле — реальные данные тонут в море домыслов, искаженных слухов. Конечно, то, что эту информацию так долго закрывали, — беда номер один. Но надо понимать, что хотя ее и скрывали от населения, ее никогда не скрывали от людей, которым она была нужна для принятия решений, от специалистов, которые могли дать независимые оценки, предложить альтернативные варианты. С первых дней после аварии под руководством В. А. Легасова в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова ежедневно собиралась рабочая группа — своего рода мозговой центр, где проводился анализ ситуации и поиск возможных решений. И какая бы проблема перед нами ни возникла, мы всегда старались привлечь к ее решению как можно более широкий круг специалистов, рассматривали все методы, которые предлагались, приветствовали любые обращения к нам. Мы никого не отталкивали, никогда не говорили «не надо». Давали возможность поехать в Чернобыль, присмотреться на месте, попробовать. У кого-то получалось, у кого-то нет. Фактически там сейчас остались работать те, чьи предложения оказались лучше, кто выиграл это неявное соревнование.

— Но из-за того, что эти проблемы обсуждали только специалисты, остальные узнавали о ходе работ главным образом из отрывочных и не всегда объективных сообщений газет и телевидения. Не могли бы вы подробнее рассказать об этих работах!

— С самого начала возникло множество вопросов. Первый: не продолжается ли в разрушенном реакторе цепная реакция? Быстро стало очевидным, что она прекратилась — по отсутствию в спектрах воздушных радиоактивных выбросов  $\gamma$ -линий короткоживущих изотопов, постоянно рождающихся при цепной реакции. Надо сказать, что, несмотря на очевидность такого вывода для специалистов, этот вопрос затем неоднократно задавали вновь.

Второй вопрос: где топливо и сколько

его выброшено? Надо представлять обстановку — разрушенный блок, раскритый реактор, все завалено обломками, остратки графита и топливных элементов на крышах. Высокие радиационные поля — даже на высоте 50—100 м в вертолете над развалом можно находиться считанные минуты. Возникли самые разные спекуляции на тему о том, сколько топлива выброшено — говорили, что половина или больше. А тут еще весьма уважаемая организация после замеров следов плутония в почве оценила выброс в 30 % (потом все объяснилось грубыми ошибками при радиохимическом анализе). Для ведения работ на площадке станции необходимо было установить нахождение хотя бы самых крупных масс топлива — концентрированных источников радиации. Измерение  $\gamma$ -поля обычными дозиметрами дает лишь усредненную картину. Напомню, что пробег  $\gamma$ -квантов в воздухе составляет сотни метров, так что поля разных источников, расположенных на меньших расстояниях, сильно перекрываются. Обнаружить такие источники можно лишь при детальной съемке поля, что в трудных условиях Чернобыля было нереально. Грубые же измерения полей часто приводили к ложным обнаружениям топливных масс. Так, в первые недели считали, что чуть ли не основная масса топлива попала в машинный (генераторный) зал. Для «топографической» съемки были быстро сконструированы и изготовлены детекторы со свинцовыми коллиматорами. Установленные на вертолетных подвесках, они дали возможность получить карту радиоактивных источников на площадке станции, крышах зданий с разрешением порядка 10 м<sup>2</sup>. Выяснилось, в частности, что топлива в машинном зале практически нет — в основном оно находится в здании реактора.

Узнать полный объем топлива в помещениях блока, измеряя  $\gamma$ -поля, невозможно из-за неопределенности, вносимой поглощением  $\gamma$ -квантов в самих топливных массах и завалах строительных конструкций. Возникла идея оценить количество топлива по выделяемому им теплу. (Все топливо реактора выделяло около 1 МВт.) Но как измерить это тепло? Пробовали разные методы. Сначала — самые простые. С вертолетов создавалась плоская дымовая завеса, а мы, наблюдая за поднимающимися вверх волнами, обнаруживали топливо по конвективным воздушным потокам. Замеряя температуру и скорость потоков, можно было грубо рассчитать количество топлива. Затем пробовали в разных местах установить дозиметры, температурные датчики и другие приборы. Пытались опускать их на тросе с вертолета, но

они разбивались или быстро выходили из строя, поскольку попадали на совершенно неизвестную поверхность, в неконтролируемые условия. А усилия на установку приборов тратились большие. Напомню только операцию «Игла» — установку металлического стержня с гирляндой датчиков в саму воронку развала, что потребовало отменного мастерства и мужества от вертолетчиков.

Явно требовалась надежная и комплексная система диагностики развала реактора. Так возник проект «Буй»: комплекс приборов помещался в особый жесткий корпус пирамидальной формы, защищающий от внешних механических воздействий. С помощью вертолетов удалось в разных местах развала установить свыше десятка «буйев», кабели от которых были выведены на специально оборудованный стенд. Эта система надежно проработала вплоть до сооружения Саркофага, когда ее заменила другая, более совершенная. Но изготовлению «буйев» предшествовали долгие обсуждения, «мозговые штурмы». Каких только предложений не было — и использовать надувные шары с приборами, и перебросить над развалом тросы, по которым двигались бы специальные тележки с аппаратурой. Для определения химического состава выбросов пытались применять лазерное зондирование. Все варианты трудно даже вспомнить.

Одним из самых важных был вопрос о выбросах радиоактивности. Активная стадия аварии и основные выбросы прекратились через 10 дней после взрыва. Однако периодически возникали подозрения, что выбросы продолжают и идет сильный перенос радиоактивности. Расскажу лишь об одном таком «ЧП». Самолет военных химиков, поднимаясь по спирали над разрушенным блоком до высоты 1,5 км, замерял активность в воздушном столбе над реактором. Военные считали, что этот столб смещается в сторону со скоростью ветра, перемножали его объем на концентрацию активности и скорость переноса и получали огромную величину выброса. Мы же видели, что выбросы гораздо меньше. Спрашиваем: а почему на площадке АЭС активность не растет? Нам отвечают: перенос идет в верхних слоях воздуха, а внизу незаметен. Как понять, кто прав? Мы сделали простой расчет — прикинули, с какой скоростью поток радионуклидов из блока должен идти вверх, чтобы он успевал наполнить столб высотой 1,5 км за то время, пока ветер пронесит его мимо развала. Эта скорость оказалась втрое больше скорости звука, что невозможно. В действительности радиоактивный столб воздуха («шлейф») не сносился, а постоянно стоял

над реактором. Правда, вдоль «шлейфа» медленный перенос активности шел.

Вывод о практическом отсутствии дальнейшего загрязнения мы проверили и по-другому. Для работы в районе Чернобыля был привлечен вертолет геологов с канадской детектирующей системой «Макфар». Обычно он используется для аэрогеологической разведки. На его борту стоит ЭВМ, которая одновременно проводит геодезическую и  $\gamma$ -съемку, выдавая карту загрязнений. Автопилот ведет вертолет параллельными галсами, так что за рабочий день можно снять карту в квадрате  $15 \times 15$  км. Мы выбрали 6 квадратов с разных сторон от ЧАЭС и поочередно проводили в них съемки, так что через 6 дней вертолет возвращался к прежнему квадрату. Повторили цикл 3 раза, а затем сравнили карты между собой. Оказалось, что они почти не изменились — небольшая миграция активности была, особенно там, где высокие градиенты, но ни о каком повторном загрязнении из-за новых выбросов и речи быть не могло.

Из-за высокой активности на площадке АЭС постоянно велась дезактивация, почву засыпали песком, покрывали бетоном, люди и машины приносили на нее новую радиоактивную «грязь», так что радиационная ситуация постоянно менялась. Как быстро обновлять карты заражения с учетом этих изменений? С первых же дней предлагали использовать люминофоры — скажем, разливать их по земле и по характеру свечения сразу же узнавать распределение активности. Но ведь это дорого, да и чтобы заказать их где-то и привезти, нужно немало времени. Потом возникла простая и красивая идея — воздух тоже в какой-то степени люминофор. Скажем, ионизированный азот излучает ультрафиолет. Мы тут же начали разрабатывать методику ультрафиолетовых съемок, изготовили и наладили довольно хорошую аппаратуру, а затем ночью с высоких точек снимали всю площадку. Таким образом, возникла новая аппаратура и методика исследований. Она нам потом помогла при разведке помещений внутри блока перед дезактивацией: на ультрафиолетовых снимках фиксировались пятна радиоактивной грязи. Этот пример — один из многих. Кстати, люминесценцию мы использовали в другом новом приборе — для быстрого поиска в пробах грунта «горячих частиц». Обычно для этой цели применяют радиографию: на тонком слое почвы закрепляют фотопленку, через сутки ее проявляют и по темным пятнам определяют места расположения горячих частиц. Остается еще найти эти частицы в слое почвы. Мы разработали более быстрый способ: про-

ба рассыпается по люминесцентному экрану, а горячие частицы обнаруживают по светящимся точкам на нем через микроскоп. Этот экспресс-метод позволил собрать и изучить многие сотни горячих частиц.

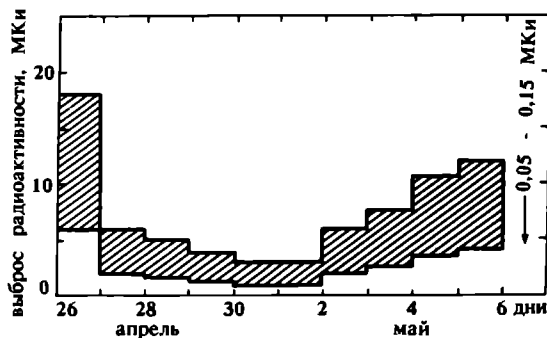
Сегодня работы в Чернобыле в 1986 г. воспринимаются как пожарные, спонтанные. Наверное, в значительной степени так и было. Только после возведения Саркофага началось систематическое изучение 4-го блока.<sup>1</sup>

— Поскольку вначале информация о работах по ЛПА была не слишком подробной, вокруг этих работ возникало множество мифов и слухов, которые ходят и до сих пор. Хотя некоторые из связанных с ними вопросов, возможно, покажутся вам некорректными или даже неграмотными, хотелось бы все же задать их вслух и получить ответ.

Прежде всего, у многих вызывает сомнение официально объявленная величина выброса — 3,5 % топлива. В докладе МАГАТЭ указано, что из реактора выброшено около трети графита, а поскольку топливные стержни насквозь пронизывали графитовую кладку, многие усматривают противоречие между этими двумя величинами. Быть может, объяснить это противоречие можно так: сколько выброшено топлива при взрыве, сказать трудно, но после очистки крыш, площадки АЭС, самого блока под Саркофаг действительно удалось собрать 96,5 % топлива!

— Давайте прежде определим, что понимать под словом «выброшено». Если иметь в виду «выброшено из шахты реактора», в том числе в соседние помещения, в центральный зал, в подреакторное пространство, на ближайшие крыши — то оценить такой выброс действительно сложно. В конце концов, сейчас мы видим, что в самой шахте реактора почти ничего не осталось — можно считать, что в этом смысле выброшено все. Но говорит ли о чем-нибудь такое понятие «выброса»? Я считаю, что мы должны учитывать не ту активность, которая была собрана управляемыми бульдозерами, сброшена в завал с крыш, укрыта во временных хранилищах, залита бетоном при строительстве Саркофага, а только ту, которая осталась на землях Украины, Белоруссии, России и создает радиационный фон. Она измерена надежно, известно даже, сколько ее выпало в Европе, США, Японии, сколько рассеялось над просторами океанов. Что касается выброшенного графита, то у меня вызывает сомнение точность оценки. Я бы не строил

<sup>1</sup> Подробнее см. в номере: Боровай А. А. Внутри и вне Саркофага.



Выброс радионуклидов из 4-го блока на активной стадии аварии. Штрихованная часть гистограммы соответствует погрешности измерений.

рассуждения на одной непроверяемой цифре, принимая ее за аксиому. Графит горел много дней, и, думаю, никто не знает, сколько его было выброшено на окрестности, а сколько сгорело или лежит в центральном зале, куда мы долго не могли проникнуть.

И второе соображение. Надо различать выброс топлива и выброс радиоактивности, это не одно и то же. Мы знаем, сколько и каких радиоактивных изотопов образовалось в каждом грамме топлива. Во время взрыва часть диспергированного топлива вместе с содержащейся в нем радиоактивностью была выброшена в атмосферу. Это «топливная» компонента выбросов. Ее характерная особенность — фиксированный набор радиоактивных изотопов, связанных в урановой матрице. Типичные «топливные» нуклиды — плутоний, церий и в значительной мере стронций. Однако во время аварии топливо нагревалось до высоких температур, и при этом летучие элементы (в частности, иод и цезий) выходили из топливной матрицы в виде летучих радиоактивных выбросов. «Топливная» компонента в основном выпала в 30-километровой зоне, а летучие выбросы распространялись на большие расстояния, образуя там, где были сильные осадки, интенсивные пятна загрязнений. Когда мы говорим о выбросе 3,5 %, то это относится к нуклидам топливной компоненты. Что касается летучих нуклидов, то их выбросы следует определять индивидуально.

Самым главным было определить выбросы наиболее опасных для человека нуклидов — иода, цезия, стронция и плутония. В первое время особенно важен был плутоний: по нему нормы особенно жесткие. А измерять его непросто, так как он излучает не  $\gamma$ -кванты, а только  $\alpha$ -частицы. Требуются предварительно сложные радиохимические

реакции для его выделения, а лишь после этого — измерения на  $\alpha$ -спектрометре. Это неделя хорошей работы для квалифицированной группы радиохимиков и спектроскопистов. Ясно, что на основании таких анализов оперативно снять карту загрязнений плутонием невозможно — во всей стране не хватает специалистов.

Чтобы стало ясно, насколько это тонкая работа, приведу пример. Как-то нам присылают результаты анализов из одного очень хорошего института. Там вдруг нашли огромные количества плутония в почве. Но что удивительно: из блока примерно в равной пропорции выброшены три изотопа —  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{240}\text{Pu}$ , а в анализе присутствует только  $^{239}\text{Pu}$ . Оказывается, при анализе пользовались посудой, в которой когда-то работали с этим изотопом, а концентрация плутония в пробах настолько мала, что этого оказалось достаточно, чтобы исказить результат. Случались и другие ошибки. Нам даже пришлось создать специальную бригаду, которая проверяла сомнительные результаты. И соотношение в анализе разных изотопов было надежным критерием достоверности. Скажем, в выбросе присутствовали два изотопа цезия —  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , церия —  $^{141}\text{Ce}$  и  $^{144}\text{Ce}$ , рутения —  $^{103}\text{Ru}$  и  $^{106}\text{Ru}$ . Отношение изотопов цезия служило своеобразными «отпечатками пальцев» черновильской аварии — оно сильно зависит от выгорания топлива, и анализ этого соотношения помогал выделять черновильские осадки на фоне глобальных выпадений от испытаний атомного оружия. Как-то раз нам сообщили из Литвы, что на Куршской косе обнаружили повышенное содержание цезия. Мы организовали экспедицию, проверили. Действительно, цезия там было несколько больше, чем вокруг (хотя и в пределах фона), но, судя по соотношению изотопов, никак не «черновильского». Еще более надежным критерием могло служить отношение изотопов рутения — там две очень близкие спектральные линии на большом сплошном фоне, и чтобы их разделить, нужна очень высокая квалификация и хорошая аппаратура. Если это удалось, значит, анализ проведен достаточно тщательно.

Однако карта заражения плутонием была сделана очень быстро. Помогло то, что тугоплавкий плутоний (температура кипения около  $4000^\circ\text{C}$ ) надежно связан с урановой матрицей, как и церий, который химически близок к плутонию, но испускает  $\gamma$ -кванты. И все наши анализы показывали строгую корреляцию между содержанием церия и плутония — оба элемента присутствовали в одних и тех же топливных частицах. По-



этому нам удалось, измеряя  $\gamma$ -излучение цезия, построить карту распределения плутония. Конечно, коэффициент корреляции мы постоянно проверяли, делаем это и до сих пор.

— То, что из реактора было выброшено значительное количество активности, во многом связано с длительным горением графита. Но и сам этот пожар вызывает вопросы. Многие недоумевают, почему загорелся графит — ведь температура его воспламенения значительно выше тех 2000 °С, до которых, по официальным сведениям, нагрелась активная зона. Некоторые говорят, что роль катализатора сыграл цирконий и что в графитовом реакторе не стоило использовать циркониевые трубы.

— Я немного интересовался этим, хотя и не химик по образованию. В действительности у графита даже нет определенной температуры воспламенения — все зависит от среды, в которой он находится. Однозначно сказать, почему он загорелся, трудно. Я не исключаю, что в некоторых точках активной зоны были очень высокие температуры и возникли условия, при которых графит мог загореться. Быть может, как-то повлиял и цирконий. Полной картины процессов после взрыва у нас пока нет. Честно говоря, это направление анализа чернобыльской аварии несколько отстает от других. Хотя много экспериментов с графитом уже проведено и множество идей обсуждалось, восстановить происшедшее в деталях еще не удалось.

— Приходилось слышать самые разные мнения по поводу решения сбрасывать в развал реактора мешки с песком, доломитом, глиной и другими материалами. Одни считают, что это уменьшило выброс активности из блока, другие — что засыпка стала преградой на пути конвективных потоков воздуха через активную зону, поэтому остатки топлива снова начали разогреваться, и этим объясняется некоторое увеличение радиоактивных выбросов на 6-й день после аварии. С другой стороны, говорят, что основная часть сброшенных материалов вообще не попала в шахту реактора.

— Они и не могли туда попасть полностью — шахта имеет диаметр около 15 м, а сбрасывали мешки с большой высоты. Сейчас мы видим, что шахта почти пуста, и трудно сказать, что произошло с материалами, которые туда попали. На блок было три сильных воздействия — сначала взрыв, потом засыпка с вертолетов и, наконец, заливка бетоном при строительстве Саркофага, которую вели дистанционно и потому почти не

могли контролировать. Сейчас очень сложно разделить результаты этих воздействий — скажем, в расплавах, содержащих окись урана и кремний. Неясна пока и причина увеличения выброса после 2 мая. Наверное, зная состояние блока в деталях, можно рассчитать такую последовательность и технологию засыпки, которая минимизировала бы выброс, но тогда мы не обладали такими знаниями, да и сегодня узнали не все. Скажем, часто спрашивают, нужно ли было сбрасывать в развал свинец, не загрязнило ли его кипение площадку дополнительно. Но мы внутри блока пока не обнаружили свинца и не знаем, куда он попал или куда ушел, расплавившись. Когда перестраивался машинный зал, оттуда вынимали мешки, сброшенные с вертолетов сквозь крышу, но среди них не оказалось ни одного со свинцом. В подреакторных помещениях свинца тоже нет. Может быть, он лежит в центральном зале, завалы в котором еще не исследованы до конца? Нет свинца и вне блока. В конце 1986 — начале 1987 г. на Украине был тревоги, говорили, что кое-где в почве слишком много свинца. Мы специально брали пробы, проверяли. Свинец был, но в обычных природных количествах, не больше. С тех пор сведений о загрязнении свинцом к нам не поступало.

— Сейчас, когда и неспециалистам стало ясно, что Саркофаг — не окончательное решение проблемы захоронения 4-го блока (раньше об этом как-то не задумывались или не говорили вслух), у многих возникли сомнения в достоинствах выбранного проекта или даже вообще в необходимости такого строительства. Кое-кто утверждает, что лучше было с помощью мощной землеройной техники просто засыпать блок землей, превратив его в гигантский холм.

— Я в отборе проектов не участвовал и не знаю, как он шел, но мне кажется, было сделано все, чтобы выбрать оптимальный в условиях лета 1986 г. вариант. То, что множество активных обломков, лежавших в завалах с северной стороны, нужно было замуровать в каскадной стене, представляется очевидным. Некоторые другие решения тоже однозначно вытекали из ситуации — скажем, крыша из трубного наката. Вначале хотели сделать свинцовую или бетонную, но расчеты показали, что стены блока не выдержат их веса.

Что же касается идеи засыпать блок грунтом, то мы сразу ее отмели. Это привело бы к полной теплоизоляции топлива, его нагреву и плавлению, так что оно могло либо собраться в массу больше критической,

и тогда новый выброс, либо проникнуть в грунт и заразить грунтовые воды. Сейчас топливо выделяет гораздо меньше тепла, чем тогда, и сегодня уже можно обсуждать эту идею вновь. Но я не уверен, что такая засыпка необходима. Это радикальное решение, которое можно принимать только в том случае, если будет остановлен 3-й и 4-й блок. Хотя утверждается, что фундаменты 3-го и 4-го блоков не связаны, они находятся рядом, на одном грунте. Была замечена небольшая подвижка турбины 3-го блока после сооружения Саркофага. Что же будет с этим блоком, если мы засыпем Саркофаг огромной массой грунта?

— Как вы, **Спартак Тимофеевич**, оцениваете научную сторону работ по ликвидации последствий аварии!

— Наука всегда стимулируется проблемами, которые ставит перед ней жизнь, но участники этих работ испытывают удовлетворение не от научных достижений, а прежде всего от того, что они хоть в какой-то мере помогли уменьшить масштабы бедствия. Правда, теперь мы понимаем, что там родились многие новые идеи, были разработаны новые методики и приборы, ценные и с научной точки зрения. К примеру, в застывших подтеках расплавленной смеси топлива с песком или бетоном кристаллографы Радиевского института обнаружили совершенно новый тип кристаллов, новое соединение, которого до этого нигде в мире не

встречали. Для рождения таких кристаллов, обладающих очень правильной формой, требуется крайне долгое и равномерное остывание. С другой стороны, это открытие дает нам новые сведения о ходе аварии — мы можем оценить характерные времена некоторых процессов.

Отделение общей и ядерной физики Института атомной энергии к реакторам практически никакого отношения не имеет и до 1986 г. конкретными проблемами атомной энергетики не занималось. Наша область — фундаментальная ядерная физика, физика твердого тела, сверхпроводимость. Почему же мы работали в Чернобыле? Там, как говорят, возникла нештатная ситуация, мы столкнулись с неизвестными явлениями и процессами, к которым нужно было подойти непредвзято, без всяких стереотипов. И оказалось, что фундаментальная наука, навыки исследователя, а не инженера, там были даже нужнее, чем специальный опыт и конкретные знания. Но мы работали с самыми разными организациями, привлекали любых специалистов, и «ведомственных», и «независимых». Всегда ценился сам человек. И, возвращаясь к началу нашей беседы, хочу еще раз подчеркнуть: и хвалить за успехи, и осуждать за неудачи нужно не науку вообще, а людей в науке, с именами которых эти успехи или неудачи связаны. А оценку нашим действиям пусть ставит будущее.

© Материал подготовил Г. М. Львовский

## А. К. Калугин **Сегодняшнее понимание аварии**

**А**ВАРИЯ на 4-м энергоблоке Чернобыльской АЭС явилась одной из крупнейших катастроф современности. Не только из-за того, что погиб 31 человек и затрачены огромные средства, чтобы убрать основную часть радиоактивной «грязи» и закрыть разрушенный блок. Более 100 тыс. жителей пришлось переселить из зоны наибольшего заражения; на долгие годы выведены из хозяйственного оборота значительные земельные участки. Во всем мире возникло сомнение в надежности атомных станций. И хотя прошло уже больше 4 лет, продолжают с неослабевающей силой звучать вопросы: что же случилось в ночь на 26 апреля 1986 г.? Почему? И кто ответствен за это?

Вопросы вполне закономерны, ведь любая авария — это суровый урок, осознав который до конца, можно намного уменьшить риск подобных аварий в будущем. Чтобы ответить на них, придется вспомнить, как формировались концепции нынешних реакторов.

### ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ РЕАКТОРОВ

Ядерный реактор — это установка, в которой может идти самоподдерживающаяся цепная реакция деления. Она происходит при поглощении нейтронов ядрами  $^{235}\text{U}$ , одного из изотопов урана. При этом высвобождаются 2—3 нейтрона и выделяется большое количество тепла. Если число нейтронов,



Александр Константинович Калугин, кандидат физико-математических наук, начальник отдела Института атомной энергии им. И. В. Курчатова. Основные научные интересы связаны с физическими аспектами безопасности ядерных энергетических установок.

высвобождающихся при делении урана, в точности равно числу поглощающихся нейтронов (с учетом утечки за пределы реактора), количество тепла, выделяющееся в единицу времени, т. е. тепловая мощность реактора, постоянно. Изменяя интенсивность поглощения нейтронов, можно регулировать уровень мощности.

Первые реакторы создавались исключительно для военных целей — как мощные генераторы нейтронов, которые, поглощаясь в природном уране, дают плутоний для ядерного оружия, или компактные источники пара для вращения турбогенератора подводной лодки. Реакторы первого типа представляют собой огромные графитовые цилиндры<sup>1</sup>, пронизанные трубами, содержащими урановое топливо в металлической оболочке. По трубам циркулирует жидкость или газ, охлаждающие топливные стержни. Если сначала тепло, выделяющееся в реакторе, никак не использовалось, то со временем часть его стали применять для производства пара и выработки электроэнергии (Колдер-Холл в Англии, Сибирская АЭС в СССР). По мере совершенствования конструкционных материалов удавалось получать все более высокие давление и температуру пара и повышать КПД установки. Так появились реакторы Белоярской АЭС, где температура пара достигала 450 °С, а позднее — реакторы РБМК, установленные, в частности, на Чернобыльской АЭС. Реакторы второго типа представляют собой толстостенный герметичный сосуд из нержавеющей стали, в который вода подается и из которого отводится по не-

большому числу труб; поскольку корпус выдерживает высокое давление (более 100 атм), воду можно нагревать до температуры выше 300 °С. Нагретая вода поступает в парогенератор, где за счет своего тепла испаряет воду второго контура, подключенного к турбогенератору. Логическим развитием реактора этого типа стали корпусные реакторы (PWR, ВВЭР), получившие наиболее широкое развитие во всем мире.

Следует подчеркнуть, что от военного реактора до АЭС, как говорится, дистанция огромного размера. Если в первом случае затраты не имеют особого значения, то стоимость электроэнергии на атомной станции должна быть не выше, чем, скажем, на угольной, в противном случае она просто не нужна. Можно, конечно, манипулируя нашими не очень обоснованными ценами, доказывать, как это делают многие публицисты, принципиальную неэкономичность атомной энергетики, которая якобы и существует только из-за амбициозности заправил отечественного военно-промышленного комплекса. Но предполагать нечто подобное, например, для Франции, производящей на АЭС более 70 % электроэнергии, по меньшей мере нелогично.

Именно по этой причине основные усилия атомщиков в 50—60-е годы были направлены на повышение экономичности атомных станций. А ведь далеко не очевидно, что реактор, идеально подходящий для производства плутония, окажется столь же хорошим на АЭС. Да и строгую дисциплину на военном предприятии поддерживать гораздо легче, чем на гражданском. Многолетний опыт безаварийной эксплуатации военных реакторов в СССР породил глубоко укоренившуюся философию: достаточно написать правильную инструкцию по управлению реактором — и безопасность обеспечена. Ведь само собой разумеется, что инструкцию обязательно выполнят. Оказалось, что далеко не разумеется. И первый важнейший урок Чернобыля: безопасность АЭС не может основываться на инструкциях. Если при заданных отклонениях какого-то параметра реактор необходимо «заглушить», это должно происходить автоматически, без вмешательства оператора. Более того, нужно предпринять меры, чтобы такая автоматическая защита не могла быть произвольно отключена.

Но после Чернобыля возникла совершенно новая философия безопасности. Теперь в концепции новых реакторов безопасность встраивается изначально. Техника, даже многократно дублированная, тоже может отказываться. Однако можно сконструировать

<sup>1</sup> Иногда, как, например, в канадских реакторах CANDU, вместо графита используется тяжелая вода.

реактор так, чтобы если, например, в нем начала неуправляемо возрастать мощность, его внутренние свойства без вмешательства извне изменялись, приводя к затуханию реакции деления.

Второй важнейший концептуальный урок Чернобыля характерен, к сожалению, только для нашей страны, из него до сих пор не сделано надлежащих выводов.

Первый реактор в нашей стране был создан в фантастически короткие сроки, да еще в условиях послевоенной разрухи, и проработал без малого 40 лет. Это привело к опасному убеждению, что можно создавать большие атомные энергоустановки без серьезного научно-технического обоснования. Во всем мире, например, принято отрабатывать новые реакторные концепции на небольших прототипах. Мы же сразу построили РБМК-1000 мощностью миллион киловатт! Все научные и опытно-конструкторские работы по созданию корпусного реактора ВВЭР-1000 обошлись в несколько десятков миллионов рублей. Для сравнения приведем только одну цифру: комиссия США по ядерному регулированию тратит на научные исследования по повышению безопасности реакторов около 500 млн долл. ежегодно.

После Чернобыля была сформулирована широкая программа исследований по безопасности АЭС, выполнение которой позволило бы существенно уменьшить последствия даже очень маловероятных аварий и практически исключить риск для населения, проживающего вне санитарно-защитных зон АЭС. Был подготовлен проект постановления правительства, требующий согласования 50 (!) министерств и ведомств. Материалы уже два года безрезультатно блуждают по многочисленным кабинетам.

Таким образом, опыт развития атомной энергетики позволяет сделать два основных вывода: во-первых, безопасность АЭС должна базироваться не только на инструкциях, но и на технических средствах, а еще лучше — на внутренних свойствах реактора; во-вторых, безопасность стоит денег.

## КОНТРОЛЬ ЗА БЕЗОПАСНОСТЬЮ АЭС

Особое значение контроля за безопасностью различных сооружений и установок было осознано давно. В старое доброе время, когда испытывался на прочность вновь построенный мост, его нагружали трехкратной нагрузкой, а инженер — автор проекта и руководитель строительства стояли под мостом во время испытаний. Подход простой и убедительный, хотя неоднократно бывали случаи, когда впоследствии мосты обруши-

вались при ураганном ветре или землетрясении.

Представим себе, что разработан проект атомной станции. Его обязательной частью является специальный документ — «Техническое обоснование безопасности» (ТОБ), где показано, что ни одно из рассмотренных событий (например, разрыв трубы метрового диаметра, подающей воду в половину каналов реактора, совпавший с отказом любой из систем безопасности, а также с выходом из строя всех источников электроснабжения<sup>2</sup>) не приведет к недопустимому выбросу активности. Этот документ поступает на рассмотрение в Государственный комитет по надзору за безопасностью ведения работ в атомной энергетике и промышленности (ГАЭН<sup>3</sup>), и пока он не получит одобрения, строительство АЭС не начинается. ТОБ прежде всего проверяется с формальной стороны: все ли ситуации рассмотрены, учтены ли требуемые нормами наложения событий и, главное, что получается в результате рассмотрения. Но как все-таки убедиться, что все рассчитано правильно? Не устраивать же на реакторе настоящую аварию, да еще (по аналогии с мостом) посадить за пульт управления генерального конструктора!

На самом деле все аварии моделируются по частям. В одном эксперименте моделируется разрыв трубы и измеряют, как быстро из канала уйдет вода, в другом проверяют, как при этом меняется мощность реактора и с какой скоростью срабатывает аварийная защита, в третьем — как ведет себя топливо при перегреве и сколько из него выходит радиоактивных газов, в четвертом — насколько надежно радиоактивный пар конденсируется в специальных герметичных емкостях. Для каждого звена создается расчетная модель, которая должна правильно описывать совокупность экспериментов, а потом все они объединяются в надежно проверенную расчетную модель станции в целом. Правильность стыковки расчетов и экспериментов на каждом этапе и модели в целом оценивают сотрудники научно-технического центра ГАЭН (т. е. специалисты, а не чиновники) с привлечением независимых

<sup>2</sup> Современные нормы безопасности АЭС требуют рассматривать именно такое наложение событий. Для РБМК анализируется около 50 различных нарушений нормальной работы.

<sup>3</sup> Летом прошлого года ГАЭН объединен с аналогичным комитетом по надзору за безопасностью в других отраслях промышленности. На этот раз наши парламентарии явно перестарались в стремлении сократить количество чиновников. Во всем мире атомную промышленность — в силу специфики — контролируют специальные организации.

экспертов, в том числе зарубежных, как это делалось для Горьковской АСТ. Эксперименты, конечно, стоят больших денег, но это как раз тот случай, когда экономить нельзя.

Но это еще не все. Пусть все 50 нештатных ситуаций рассмотрены и расчеты признаны правильными. Ни в одной из них топливо не расплавилось. Хорошо, говорят вам, а если оно все-таки расплавится? Это (у нас в стране) уже послечернобыльский подход. И нужно доказать, что и в этом случае население не пострадает. А для этого требуются еще более дорогостоящие эксперименты<sup>4</sup>. Но зарубежный опыт показывает, что поставленная цель вполне достижима.

Весь описанный выше подход сформировался, к сожалению, только после Чернобыля — в 1986 г. ГАЗНу было всего два года. И к тому же подчинялся этот комитет заместителю Председателя Совета Министров СССР по топливно-энергетическому комплексу, т. е. лицу, ответственному в то же время за обеспечение страны электроэнергией. И бывали случаи, когда стремление выполнить план любой ценой оттесняло на задний план вопросы безопасности. Сейчас ГАЗН входит в Бюро Совета Министров СССР по чрезвычайным ситуациям.

И последнее: авария на Чернобыльской АЭС произошла во время эксперимента. Вообще говоря, использование АЭС для проведения экспериментов весьма желательное — как уже говорилось, экспериментальные установки очень дороги. Но при одном обязательном условии: любой эксперимент — тоже нештатная ситуация, поэтому его безопасность должна быть обоснована точно так же, как для других ситуаций, и теми же людьми, которые участвовали в проектировании АЭС. За этим должны следить инспекторы ГАЗНа, которые работают на каждой атомной станции. Кроме того, на АЭС должен быть специалист по безопасности реактора, имеющий право запретить выполнение любой операции, если считает ее потенциально опасной. Такой человек есть — заместитель главного инженера по науке и ядерной безопасности, т. е. руководитель достаточно высоко-го ранга.

Таким образом, в отношении контроля за безопасностью из чернобыльской аварии извлечены достаточно серьезные уроки.

### РЕАКТОРЫ РБМК

Прежде чем обсуждать развитие событий при аварии, необходимо немного

подробнее ознакомиться с особенностями реакторов РБМК.

Графитовая кладка этих реакторов сложена из кирпичей размером 25×25×60 см. В центре каждого кирпича имеется отверстие для циркониевого канала. Всего в реакторе 1884 канала, из которых 1661 содержит по 2 топливные сборки из 18 стержней (твэлов) каждая, а остальные предназначены для стержней управления и защиты и измерительных устройств.

В топливные каналы снизу мощными центробежными насосами подается вода с температурой 270 °С и давлением 70 атм. Омывая твэлы, вода частично испаряется, и пароводяная смесь из каждого канала поступает в барабаны-сепараторы диаметром более 2 м и длиной около 30 м. Там пар отделяется от воды и по паропроводам идет к двум турбинам мощностью по 500 МВт. Вода из сепаратора смешивается с конденсатом пара, прошедшего через турбину, и возвращается в реактор.

Однако, если посмотреть на тепловую схему станции, которая обычно висит на стене БЩУ (блочный щит управления — так называется помещение, откуда управляют основными агрегатами АЭС), на площади в несколько квадратных метров вы увидите огромное количество труб, вентиля, клапанов, насосов, среди которых реактор представляется небольшим (несколько сантиметров) квадратиком. Элементы арматуры, измерительные приборы, кабели исчисляются многими тысячами. Большая часть работников АЭС занята обслуживанием этого тепломеханического оборудования и понятия не имеет о том, что такое реактор<sup>5</sup>. Это еще не беда. Но когда директор и главный инженер АЭС (как правило, выходцы с тепловых станций) начинают относиться к реактору пропорционально его размеру на тепловой схеме, это уже опасно. И совсем скверно, когда представители энергетических институтов и руководители энергетической промышленности начинают рассуждать, что реактор, в сущности, ничем не отличается от обычного парового котла. На самом деле очень даже отличается. Стоит прекратить подачу топлива в котел, как он погаснет. Ядерного же топлива хватает на три года, и не дай Бог ему сгореть быстрее — произойдет взрыв.

Чтобы этого не случилось, на реакторе имеется система управления и защиты. Как только мощность реактора самопроизвольно

<sup>4</sup> Именно эти исследования предусмотрены в неутвержденной программе, о которой говорилось выше.

<sup>5</sup> Странно, но на АЭС с корпусными реакторами, где оборудования гораздо меньше, персонала столько же — 1000—1200 чел. на блок мощностью 1 ГВт.

повышается всего на 10 %, регулирующие стержни под действием собственного веса падают в реактор, а поскольку они сделаны из карбида бора, сильно поглощающего нейтроны, реакция деления сразу же прекращается. То же происходит при возникновении других аварийных ситуаций. В менее опасных случаях (например, отключился один насос из шести) стержни вводятся в реактор частично, уменьшая его мощность до безопасного уровня. Но почему может возрасти мощность и как быстро стержни заглушат реактор? На эти и многие другие вопросы и дает ответ техническое обоснование безопасности.

Для понимания существа чернобыльской аварии достаточно ограничиться двумя поставленными вопросами. Итак, почему может увеличиться мощность? Только если нейтронов поглощается меньше, чем рождается. Скажем, извлекли из реактора поглощающий стержень — и через 10 с мощность возрастает на 10 %, так что сработает аварийная защита. Или сломался насос, подающий холодный конденсат после турбины. В реактор начинает поступать вода уже с температурой 280 °С, и в каналах с топливом становится больше пара и меньше воды. Но вода тоже поглощает нейтроны, хотя, с другой стороны, экранирует от них не только  $^{235}\text{U}$ , но и (что даже более важно)  $^{238}\text{U}$ , не делящийся тепловыми нейтронами изотоп урана, из которого на 98 % состоит топливо. Результирующий эффект сложным образом зависит от соотношения масс и распределения различных материалов в реакторе.

Если при увеличении количества пара в реакторе поглощение нейтронов уменьшается и мощность растет, говорят, что паровой эффект положителен. Это, вообще говоря, характеризует конструкцию не лучшим образом. Ведь если, как в нашем примере, количество пара увеличилось из-за повышения входной температуры, мощность возрастет, и количество пара еще более увеличится... Стержни из карбида бора нужно будет достаточно быстро ввести в активную зону, чтобы стабилизировать реакцию.

В требованиях к безопасности АЭС, действовавших в 1986 г., было сказано: «...паровой эффект, как правило, должен быть отрицательным, в противном случае должно быть обосновано в проекте, что это не опасно». В РБМК паровой эффект положителен, и его безопасность была обоснована. Но, как оказалось, плохо. И потому приходится вернуться к вопросу о быстром действии системы аварийной защиты.

Поглощающие стержни в РБМК выполняют функцию не только аварийной защиты, но и регулирования (изменения скорости выделения энергии во всем реакторе или отдельных его частях). Ясно, что для блока мощностью 1 ГВт недопустимы резкие регулирующие воздействия. Поэтому скорость перемещения стержней была выбрана небольшой — 40 см/с, т. е. для полного извлечения или погружения стержня в реактор требовалось 18 с. Но как тогда выполнять функции защиты? Можно было для этого выделить специальную группу стержней с высокой скоростью ввода (так, кстати, и сделано после аварии). Однако сначала разработчики предпочли другой путь решения проблемы. В РБМК более 200 поглощающих стержней. Если все они по аварийному сигналу вводятся в реактор и если хотя бы несколько десятков стержней начинают свое движение не с самого верха, а из промежуточного положения, реакция прекращается достаточно быстро<sup>6</sup>.

Однако если все стержни вводятся в реактор из верхнего положения со скоростью 40 см/с, в первые несколько секунд мощность практически не меняется. Ясно, что такая защита никуда не годится. Именно поэтому в эксплуатационной инструкции было недвусмысленное указание, что если число стержней, опущенных внутрь реактора, меньше определенной величины, он должен быть немедленно заглушен. Яркий пример обеспечения безопасности при помощи инструкций.

На эти обстоятельства наложилась серьезная недоработка в конструкции стержня. Дело в том, что поглощающие стержни тоже надо охлаждать. Когда стержень извлечен, в канале остается вода, которая как уже говорилось, также поглощает нейтроны. Это увеличивает расход топлива и снижает экономичность АЭС. Поэтому под поглощающим стержнем подвешен графитовый цилиндр, вытесняющий лишнюю воду. При погружении поглощающего стержня вытеснитель опускается под реактор. А там хватало места, чтобы разместить вытеснитель длиной не более 4,5 м. При верхнем положении стержня вытеснитель оказывался в центральной части реактора, а сверху и снизу ставались столбы воды высотой около 1 м. Когда такая конструкция начинает перемещаться вниз из крайнего положения, в верхнюю часть реактора вводится сильный поглотитель (карбид бора), а снизу выводится слабый поглотитель (вода). В очень редких си-

<sup>6</sup> Начальное положение стержней важно, поскольку они гасят цепную реакцию, поглощая нейтроны, а у верхней границы реактора этих частиц мало.



туациях, когда по какой-то причине большинство нейтронов оказывается в нижней части реактора, ввод всех стержней из крайнего верхнего положения в первые 3 с может привести к уменьшению поглощения нейтронов и росту мощности.

Это обстоятельство было хорошо известно создателям реактора РБМК. Велись, хотя и недостаточно интенсивно, работы по исправлению такого конструктивного дефекта. И опять же была непоколебимая вера во всемогущество инструкции (при наличии в реакторе регламентного количества стержней срабатывание аварийной защиты не приводит к росту мощности).

Таким образом, в конструкции РБМК было по меньшей мере два слабых места: положительный паровой эффект и аварийная защита, которая при нарушении эксплуатационных инструкций глушила реактор недостаточно быстро, а в ряде случаев могла даже кратковременно повысить его мощность.

26 АПРЕЛЯ 1986 Г.

25 апреля 1986 г. 4-й блок Чернобыльской АЭС должен был остановиться на плановый ремонт. Перед остановкой предполагалось провести эксперимент по проверке одной из систем безопасности.

Выше уже говорилось, что при авариях предполагается отключение внешних источников электроэнергии. Поэтому на АЭС имеются автономные дизель-генераторы, запускающиеся через 15 с после остановки реактора. Если в течение этого времени насосы, охлаждающие реактор, смогут питаться от генераторов АЭС за счет инерции вращения массивного ротора турбины, все в порядке. Это и предстояло проверить.

Но ведь блок к этому времени проработал уже три года с непроверенной системой безопасности. Как же так? Видимо, некогда было проверить во время пуска (план прежде всего). Дескать, две системы из трех проверили — и то хорошо, ведь они рассчитаны на очень маловероятный случай. Между прочим, если бы эксперимент даже со всеми нарушениями проводился при пуске, аварии бы не было — в это время у РБМК паровой эффект отрицателен.

Программа эксперимента не была согласована не только ни с одной из организаций, проектировавших АЭС, но даже с заместителем главного инженера по науке. Видимо, главный инженер, утвердивший ее, решил, что раз речь идет о турбине — нечего беспокоить реакторщиков. Но на самом деле по программе к турбогенератору

следовало подключить 4 из 8 насосов, подающих воду для охлаждения реактора, и это не могло не сказаться на его работе (для выполнения эксперимента можно было подключить любые другие, менее ответственные агрегаты).

Но и эта программа была выполнена неточно: вместо запланированных 40 % мощности реактор работал на мощность около 6 % от номинальной, причем через два часа после начала снижения мощности, а это неминуемо привело к необходимости извлечь из реактора практически все поглощающие стержни<sup>7</sup>. Если бы реактор заглушили, когда количество стержней в нем стало меньше минимально допустимого, аварии не случилось бы. Но эксперимент продолжался.

Внимательный читатель, наверное, обратил внимание на множество «если бы». Это и называется «наложением ряда маловероятных ситуаций» — практически все крупные аварии происходят в результате таких наложений.

В 1 час. 23 мин. 04 сек. 26 апреля были закрыты клапаны, отсекающие паропровод от турбины, и она начала медленно сбавлять обороты. В такой ситуации реактор должен был автоматически заглушиться. Но соответствующая защита была отключена. Зачем? Эксперимент этого не требовал. Единственное предположение — проводившие эксперимент хотели сохранить возможность повторить его еще раз. Так же непонятно, почему через 36 с была нажата кнопка аварийной защиты (при этом все поглощающие стержни вводятся в реактор). То ли убедились в том, что генератор дает ток, то ли что-то уже было не так. Неизвестно. Но через несколько секунд после нажатия кнопки здание блока сильно трянуло, погас свет, зажглось аварийное освещение, и тут же последовал мощный взрыв, а поглощающие стержни остановились, не дойдя до нижнего положения.

#### ПРИЧИНЫ АВАРИИ

27 апреля 1986 г. автор, работавший в то время начальником отдела РБМК в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова, вместе с группой специалистов ИАЭ и НИКИЭТ (Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники, главный конструктор РБМК) вылетел на место аварии.

28 апреля группа прибыла на АЭС, где в подвальном помещении администра-

<sup>7</sup> При уменьшении мощности реактора в нем начинают накапливаться сильно поглощающие нейтроны продукты деления урана, и для компенсации этого стержни приходится извлекать.

тивного корпуса находились документы с 4-го энергоблока: журналы с записью происходивших событий, ленты самописцев, регистрирующих мощность реактора, давление и расход охлаждающей воды. И самый драгоценный материал: данные системы автоматической регистрации почти всех параметров энергоблока, записанные с интервалом 1—2 с.

Из этих данных следовало, что через 3 с после нажатия кнопки аварийной защиты мощность реактора не только не уменьшилась, но возросла в 2,6 раза; еще через 2 с поток воды через реактор упал вдвое, а давление подскочило с 65 до 85 атм; еще через 2 с расход воды восстановился, но повысилось давление в герметичном кожухе, окружающем графитовую кладку, что свидетельствовало о разрыве труб, содержащих топливо; дальнейшие показания говорили только о том, что вся система контроля вышла из строя.

Такое резкое увеличение давления, приведшее к разрыву труб и выбросу верхней защитной плиты весом 2000 т, могло произойти только в случае, если за несколько секунд мощность реактора выросла в сотни раз. Это можно было объяснить положительным паровым эффектом при бездействующей аварийной защите. Было понятно, почему не сработала защита: в момент нажатия кнопки практически все стержни находились в крайнем верхнем положении.

Оставалось неясным, почему начала расти мощность, и казалось, что это как-то связано с проводившимся экспериментом: когда он начался, 4 из 8 работавших насосов, питавшиеся от турбогенератора, стали постепенно снижать обороты. Это должно было привести к небольшому увеличению количества пара в реакторе, но такое возмущение, в принципе, подавляется по командам автоматического регулирования погружением тех немногих стержней, которые в реакторе находились.

Требовалось найти более сильное возмущение, и в качестве первой версии предположили, что при проведении эксперимента началась кавитация в насосах. Это явление возникает, когда температура воды на входе в насос равна температуре кипения при соответствующем давлении. Тогда за счет быстрого движения давление в насосной камере падает и вода начинает кипеть. При этом в реактор подается смесь воды и пара, срабатывает положительный паровой эффект, а значит, может начаться разгон. Так как работа шла, так сказать, в полевых условиях, это, конечно, были грубые оценки. 9 мая группа вернулась в Москву, где к рабо-

те подключились три независимых коллектива, использующие мощные ЭВМ.

За неделю удалось уточнить величину парового эффекта, выяснить, как его можно снизить и сделать отрицательным. Детально проанализировали изменение мощности при вводе стержней. Оказалось, что при этом нельзя исключить некоторый рост мощности. Во всяком случае стало ясно, что эксплуатировать реакторы РБМК без исключения этих двух дефектов невозможно. В кратчайший срок были предложены простые способы их устранения: поставить в каждый реактор по 80 поглотителей, что снижает паровой эффект до безопасной величины; удлинить на метр штангу, соединяющую поглощающие стержни и графитовые вытеснители, так что последние теперь располагаются у нижней границы реактора и воды под ними нет. И одновременно началось внедрение той самой всесторонней системы контроля безопасности, о которой уже говорилось.

Все это привело к 20 %-ному увеличению расхода ядерного топлива на 1 кВт·ч электроэнергии, но возможность повторения аварии даже при нарушении инструкций была надежно исключена.

## КОНФЕРЕНЦИЯ МАГАТЭ И РАБОЧАЯ ВСТРЕЧА В ДАГОМЫСЕ

К августу 1986 г. был подготовлен материал для конференции МАГАТЭ под названием «Авария на Чернобыльской АЭС и ее последствия». Конференция проходила в Вене с 25 по 29 сентября 1986 г. Несколько сот зарубежных специалистов, многочисленные журналисты были потрясены объемом представленной информации, а главное — открытостью обсуждения. Советским специалистам приходилось отвечать на десятки вопросов, и на каждый в меру нашего понимания давался откровенный ответ. Академик В. А. Легасов — глава советской делегации — стал одним из 10 популярнейших в мире людей. Если бы знали, чего это ему стоило!

Много писалось о преступниках-уче-ных, скрывших от народа правду об аварии. Но до 1985 г. действовал принцип «при социализме аварий не бывает», и данные обо всех авариях считались секретными. Когда материал для МАГАТЭ готовился к открытому опубликованию, один из высокопоставленных чиновников написал: «Документ содержит совершенно секретные сведения. Считаю, что авторов следует привлечь к партийной, это, конечно, были грубые оценки. 9 мая группа вернулась в Москву, где к рабо-

Пришлось решать вопрос на уровне Н. И. Рыжкова. Перед отъездом в Вену члены советской делегации получили четкие инструкции: с иностранцами не общаться, ни на один вопрос не отвечать, говорить слово в слово то, что написано в подготовленном материале. Только благодаря решительной позиции В. А. Легасова (видимо, подкрепленной соответствующими полномочиями) удалось отойти от этой схемы.

Специальная комиссия экспертов МАГАТЭ подтвердила правильность основных выводов доклада о причинах аварии и мерах повышения безопасности реакторов РБМК.

Анализ причин аварии, приведенный в Венском докладе 1986 г., был по необходимости выполнен на очень грубой модели. Хотя он и давал ответ на вопрос, что надо в первую очередь сделать, чтобы исключить подобные аварии в будущем, оставались неясными многие важные детали: в какой части реактора началось плавление топлива, почему произошел второй взрыв и т. д. На эти и многие другие вопросы может дать ответ только подробная модель. Такая модель РБМК была создана и сейчас проходит апробацию. Плохо изучена вторая фаза аварии (то, что произошло после взрыва), а это очень важно для понимания механизмов выхода радиоактивных продуктов из топлива при авариях, их переноса в окружающей среде.

За прошедшие годы во многих странах (США, Канада, Англия, Япония) проведен самостоятельный анализ чернобыльской аварии. Интересно, что ряд зарубежных специалистов не исключает, что кавитация в насосах могла оказать определенное негативное влияние в первой фазе аварии, хотя мы в последнее время отошли от этой версии.

Два года назад было решено провести серию международных рабочих встреч (достаточно узких совещаний нескольких десятков специалистов) для углубленного анализа крупнейших аварий на АЭС, в частности

в Уиндскэйле (Англия, 1957 г.), на АЭС «Три Майл Айленд» (США, 1979 г.) и в Чернобыле.

Первая такая встреча по анализу чернобыльской аварии прошла в Дагомысе в конце октября 1989 г. В ней участвовали 80 советских и зарубежных специалистов, которые разделились на 5 рабочих групп, рассматривавших разные аспекты аварии и ее последствий. Ученые обменялись сведениями по анализу аварии, придирчиво обсудили меры по повышению безопасности РБМК. Зарубежные коллеги подтвердили эффективность принятых мер и дали ряд ценных рекомендаций. Были также рассмотрены новейшие данные по радиоактивной загрязненности территории СССР и других стран, методы ее измерений и медико-биологические последствия аварии.

Материалы совещания готовятся к печати.

### КТО ВИНОВАТ?

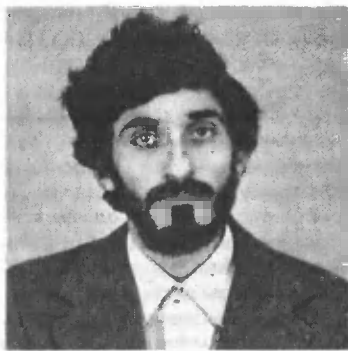
Думается, изложенное выше в какой-то степени подсказывает общий ответ на этот традиционный вопрос. Сложнее ответить, кто виноват, конкретно. Вспоминаются многочисленные постановления 70—80-х годов, посвященные развитию атомной энергетики. Все они как две капли воды похожи друг на друга: вначале отмечается, что предыдущее постановление не выполнено, строго предупреждаются руководители ведомств, ответственных за его выполнение, а потом следует изумительная по изощренности фраза: «Возложить персональную ответственность за безопасность атомных станций на...» — и далее перечисляются два десятка руководителей тех же ведомств, которые только что предупреждались.

За последние 4 года неоднократно предпринимались попытки персонализировать ответственность в сфере безопасности АЭС, но дело не доведено до конца. И это еще один урок Чернобыля, который требует скорейшего решения.

## Р. В. Арутюнян "Китайский синдром"

О СЕНЬЮ 1984 г. на физическом факультете МГУ для ограниченного круга зрителей демонстрировался американский художественный фильм «Китайский синдром». Этот приключенческий фильм

был снят по мотивам событий, происшедших во время аварии 1979 г. на АЭС «Три Майл Айленд» в штате Пенсильвания. В результате аварии там расплавилась треть активной зоны реактора и радиоактивные продукты были выброшены в здание АЭС. К счастью, работали системы локализации последствий



Рэфээль Варнезави́ч Арутюнян, кандидат физико-математических наук, заведующий отделом физических проблем атомной энергетики Института проблем безопасности развития атомной энергетики АН СССР. Основные научные работы в области квантовой теории излучения, теории взаимодействия излучения с веществом, моделирования аварий на АЭС и прогнозирования их последствий.

аварии, имевшиеся на АЭС, и выход активности за пределы здания станции оказался ничтожным. Но общественность впервые почувствовала, какая сила скрыта в недрах реактора. Журналисты из дискуссий специалистов узнали, что ядерное топливо даже после остановки реактора остается источником энергии, которой достаточно, чтобы при нарушении условий отвода тепла топливо расплавилось, проплатило корпус, бетонные перекрытия и (если следовать фантазии авторов фильма), прожигая грунт, могло «дойти до Китая». И этот «огнедышащий дракон» будет нести с собой чудовищную радиоактивность, эквивалентную выбрасываемой при взрыве сотни ядерных бомб. Так возникло по-американски хлесткое выражение «китайский синдром». И глядя этот в общем-то предостерегающий фильм, трудно было себе представить, что через полтора года жизнь заставит нас наяву столкнуться с мифическим драконом<sup>1</sup>.

Наша группа подключилась к работам по ликвидации аварии на ЧАЭС 5 мая 1986 г. Вопрос, который академик Е. П. Велихов, выехавший в Чернобыль тремя сутками раньше, поставил перед нашими руководителями А. М. Дыхне и Л. А. Большовым, звучал

следующим образом: существует ли опасность теплового разрушения или плавления строительных конструкций ядерным топливом, оставшимся в шахте реактора 4-го блока ЧАЭС, и возможно ли, таким образом, проникновение больших массивов высокорadioактивного топлива в грунт и грунтовые воды? Если да, то какие меры необходимо принять, чтобы с гарантией предотвратить попадание топлива в грунт?

Основные направления наших исследований относились к взаимодействию лазерного излучения с веществом, лазерному термоядерному синтезу, нелинейной оптике, физике твердого тела, так что мы имели лишь самые общие представления о ядерных реакторах и проблемах их безопасности. А первой увиденной нами воочию атомной станцией оказалась Чернобыльская.

Господствовавшая в СССР концепция абсолютной безопасности АЭС отразилась на исследованиях по тяжелым (или, как у нас принято говорить, запроектным) авариям. За рубежом интенсивные экспериментальные и теоретические исследования по моделированию тяжелых аварий велись на протяжении последних 15 лет, особенно активно после аварии на АЭС «Три Майл Айленд». В ходе исследований в США был создан комплекс программ STCP, моделирующих протекание тяжелых аварий на АЭС с водо-водяными реакторами, в том числе взаимодействие расплавленного ядерного топлива с конструкционными материалами. В нашей стране подобных программ не существовало.

Конечно, в мае 1986 г. можно было получить квалифицированную помощь от западных специалистов. Но «китайская стена» изоляции нашей страны от внешнего мира оставалась в то время еще крепкой, и этот, казалось бы, естественный шаг даже не приходил на ум. В первый день не сообщили о сути проблемы даже начавшим работу сотрудникам нашей группы. И только понимание того, что в такой критической ситуации секретность может дорого обойтись, позволило нам добиться разрешения на полное информирование непосредственных участников работы.

<sup>1</sup> В работах, о которых рассказано в этой статье, активное участие принимали А. И. Юдин, В. М. Головинин, В. В. Чуданов, А. Г. Попков, В. Д. Камюкова, В. Ф. Стрижов, Е. В. Ткаля, М. Ф. Каневский, Л. А. Плещачевский, Б. Ф. Петров, В. Д. Попов.

Ничего не оставалось, как «с нуля» начать создавать физические модели и самостоятельно искать решения. Прежде всего требовалось теоретически оценить физические процессы, которые необходимо учесть для правильного описания взаимодействия ядерного топлива с конструкционными материалами, и выделить среди них наиболее важные. В первый же день с помощью простых теоретических моделей удалось по-

нять, что фрагмент топлива массой порядка 10 кг обладает достаточным тепловыделением, чтобы при определенных условиях разрушать бетонные перекрытия и двигаться вниз. Через 12 часов, модифицировав пакет двумерных программ, разработанный ранее для задач лазерной технологии, мы получили первый ответ, позволивший в дальнейшем существенно ускорить расчеты.

Наряду с научными вопросами в условиях чрезвычайного дефицита времени, а потом и хронической усталости, когда ошибки могли стать неизбежными, большое значение имела и правильная организация работы группы. Рабочий день длился по 20 часов и более, и зачастую рядом с математиками, сутками не отходившими от терминалов ЭВМ, садились коллеги, которые будили их или исправляли механические ошибки. В этой ситуации, кроме группы теоретиков, мы создали две группы математиков (одну возглавил В. П. Киселев, другую — С. Ю. Чернов). Получив одни и те же уравнения, варианты расчетов и тестовые задачи, которые готовились теоретиками, эти группы считали независимо друг от друга по различным методикам, алгоритмам и на различных ЭВМ. Весь цикл от разработки алгоритмов до тестирования программ на аналитических зависимостях, как правило, занимал 10—14 ч. Совпадение результатов групп гарантировало достоверность ответов.

Ядерное топливо после прекращения цепной реакции продолжает оставаться источником тепла, выделяющегося за счет энергии радиоактивного распада осколков деления ядер  $^{235}\text{U}$ , накопившихся за время работы реактора. В момент останова реактора мощность тепловыделения составляет несколько процентов от номинальной мощности работающего реактора, затем постепенно падает. Определение точной зависимости мощности остаточного тепловыделения от времени требует громоздких расчетов изменения изотопного состава активной зоны на основе характеристик нейтронного поля реактора, графика работы блока на протяжении всей кампании и картограмм перегрузки топлива. Однако реальное тепловыделение после аварии может быть меньше теоретического — оно уменьшается за счет вылета части радионуклидов из топливной матрицы при разогреве топлива выше рабочих температур и разрушении топливных каналов. В свою очередь, на вылет радионуклидов влияет динамика разогрева топлива, физико-химический состав окружающих материалов (в частности, доступ к топливу воздуха, паров воды и т. д.), степень фрагментации топлива в ходе аварии. Полное описание этих про-

цессов достаточно сложно, и пока количественные прогнозы вылета радионуклидов в основном опираются на результаты моделирования на стендах, имитирующих протекание тяжелых аварий. Вылет радионуклидов из топлива вносит наибольшую неопределенность в расчет остаточного тепловыделения, которая может составлять десятки процентов. Поэтому при моделировании процессов теплового воздействия топлива на строительные конструкции величина тепловыделения варьируется.

Понять существо анализировавшихся процессов можно на упрощенных модельных ситуациях, дающих наглядное представление о поведении ядерного топлива в различных средах. Вначале попытаемся оценить критический размер фрагмента активной зоны реактора, способного плавить бетонные перекрытия или грунт.

Пусть тепловыделяющий шар радиусом  $R$  с удельным объемным тепловыделением  $q$  находится внутри среды с параметрами, близкими к параметрам бетона или песка. За время  $t$ , пока тепло распространяется в шаре на расстояние меньше его радиуса ( $\leq R^2/\chi$ , где  $\chi$  — температуропроводность окружающей среды; для бетона и песка  $\chi = 10^{-2} - 3 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2/\text{с}$ ), температура шара  $T$  в простейшем приближении растет по линейному закону  $T = qt/c_v$ , где  $c_v$  — удельная теплоемкость на единицу объема источника тепла (для двуокиси урана  $c_v = 3,5 \text{ Дж/см}^3$ ). Для  $R = 10 \text{ см}$   $R^2/\chi = (1-3) \cdot 10^4 \text{ с}$ , и если  $q = 1 \text{ Вт/см}^3$ , что соответствует остаточному тепловыделению топлива через 10 сут после останова реактора, за время  $5 \cdot 10^3 \text{ с}$  (около 1,5 ч) температура шара достигает  $1500^\circ\text{C}$ . Таким образом, фрагменты активной зоны размером порядка 10 см и массой 30—50 кг, засыпанные, например, песком, даже через месяц после аварии обладают достаточным тепловыделением, чтобы расплавить окружающий материал. При этом двуокись урана с плотностью около  $10 \text{ г/см}^3$  опускается в расплаве и, проплавляя все новые слои, начинает двигаться вниз.

Для оценки характерной скорости движения топлива рассмотрим слой топлива толщиной  $h$  в песке. При достижении температуры плавления песка  $T_{пл}$  топливо начнет двигаться вниз, проплавляя очередные слои песка. Через некоторое время устанавливается стационарное движение. При этом плотность теплового потока из топлива в песок оказывается порядка  $qh$ , а скорость движения слоя оценивается из баланса энергии:  $V = qh (cT_{пл} + Q_{пл})$ , где  $cT_{пл} + Q_{пл}$  — количество тепла, необходимое для разогрева и плавления единицы объема среды.

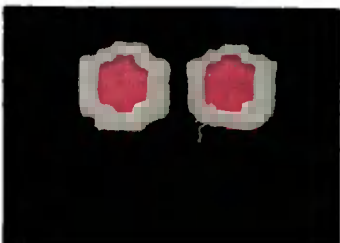
Для типичных значений  $q=1$  Вт/см<sup>3</sup>,  $h=10$  см,  $c=2$  Дж/см<sup>3</sup> К,  $T_{пл}=1400$  °С,  $Q_{пл}=300$  Дж/см<sup>3</sup> характерная скорость движения топлива в песке или бетоне оказывается порядка  $3 \cdot 10^{-3}$  см/с, или 2,5 м/сут.

Мы рассматривали ситуацию, когда ядерное топливо теплоизолировано со всех сторон. Если же его верхняя поверхность открыта, важную роль начинает играть тепловое излучение, приводящее к остыванию топлива. Когда температура топлива на границе с бетоном достигает температуры плавления бетона  $T_{пл}=1600$  К, максимальные потери на излучение составляют  $\sigma T_{пл}^4=40$  Вт/см<sup>2</sup> ( $\sigma$  — постоянная Стефана — Больцмана). Из условия равенства тепловых потерь и полного тепловыделения  $qh$  можно грубо оценить критическую толщину свободного слоя топлива на поверхности бетона, который способен проплавливать бетонное основание:  $h_{кр}=\sigma T_{пл}^4/q=40$  см.

Реальная картина взаимодействия топлива с конструкционными материалами значительно сложнее. Необходимо учитывать взаимодействие двуокиси урана с расплавом компонентов бетона, в частности с окисью кремния, тепловую конвекцию расплава, прохождение газов и паров воды, образующихся при разложении бетона, через расплав, химические превращения, например экзотермическую реакцию паров воды с цирконием. При прохождении газов через расплав возбуждаются потоки, существенно увеличивающие его теплопроводность, образующиеся аэрозоли выносят из расплава радионуклиды. С учетом всего этого моделирование поведения топлива с достаточной степенью точности требует создания сложных программ одно-, двух- и трехмерных численных расчетов.

За несколько дней на базе построенных физических моделей, описывающих поведение топлива в разных средах, был создан

Последовательные стадии движения двух фрагментов топлива радиусом 10 см, которые сливаются в один. Этот и следующие рисунки построены по результатам компьютерного моделирования. Топливо выделено цветом, расплавленный бетон — серым, твердый — черным.

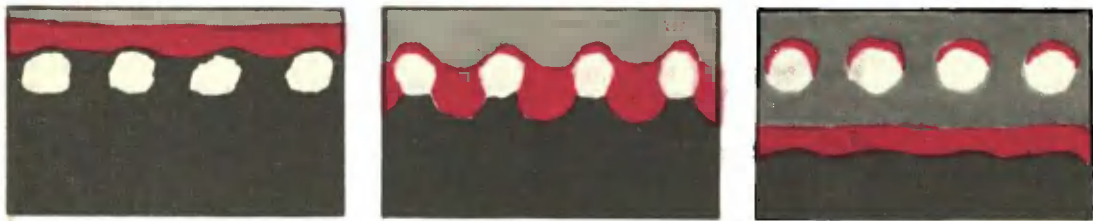


ряд версий программы «Расплав» и проведены десятки численных расчетов, а также теоретический анализ различных физических ситуаций. Общая картина поведения топлива оказалась весьма сложной. Необычным было и поведение плоского слоя топлива. При небольших возмущениях (в частности, связанных с неоднородностью среды) вследствие развития неустойчивостей происходит разделение слоя на отдельные фрагменты. В то же время может происходить и обратный процесс, когда два фрагмента топлива, движущиеся в среде, начинают сближаться и сливаются в один, перемещающийся с большей скоростью.

Созданные в короткое время физические модели и пакеты программ требовали объективной экспериментальной проверки хотя бы на качественном уровне. Несмотря на чрезвычайную напряженность ситуации и катастрофическое отсутствие времени, одновременно с разработкой программ и проведением расчетов директором Филиала ИАЭ В. Д. Письменным была создана группа под руководством Ф. К. Косырева, начавшая экспериментальное моделирование движения источников тепла в различных средах. В экспериментах топливо имитировали полые металлические и вольфрамовые цилиндры, разогревавшиеся СО<sub>2</sub>-лазером мощностью 5 кВт и начинавшие, проплавляя песок или бетон, опускаться в расплаве. Динамика их движения и изменения температуры сравнивались с результатами расчетов по программе «Расплав».

Когда нам стало ясно, что при неблагоприятном течении аварии строительные конструкции действительно могут проплавиться, не все специалисты согласились с нашими выводами. И даже сейчас, когда известна реальная картина аварии, можно встретить «математически строгие» доказательства того, что опасности «китайского синдрома» на ЧАЭС не было. А в 1986 г. в ИАЭ при участии сотрудников разных институтов, на совещании специалистов и руководства Минсредмаша велась бурная дискуссия этого вопроса. В конечном итоге после анализа представленных нами результатов победила точка зрения о необходи-





Динамика движения плоского слоя топлива толщиной 20 см сквозь систему параллельных охлаждаемых водой труб (обозначены белым). Если расстояние между трубами ненамного меньше их диаметра (25 см), топливо проходит через такую систему в виде отдельных язычков, которые затем могут снова слиться в сплошной слой; на трубах «намерзает» лишь незначительная часть топлива.

мости установки системы удержания топлива.

В Чернобыле и институтах Минсредмаша рассматривались различные варианты этих систем. В одном из проектов под аварийным блоком предлагалось пробить шурфы и завести под плиту фундамента систему параллельных труб диаметром около 30 см, охлаждаемых водой. В случае проплавления плиты и песка под ней при подходе топлива к трубам за счет отвода тепла произошло бы замораживание и остановка расплава. Первоначальные расчеты разных групп показали, что при расстоянии между трубами порядка диаметра самих труб удастся обеспечить полный теплосъем от слоя топлива и остановить его движение.

С помощью пакета двумерных программ мы решили эту задачу в более полном виде — с учетом нестационарности, различных механизмов движения топлива, реальных свойств материалов и топлива. Оказалось, что слой топлива может проходить через систему в виде «язычков», которые в дальнейшем снова сливаются в сплошной плоский слой, движущийся со скоростью около 1 м/сут.

Это еще больше подхлестнуло нашу работу. За несколько дней удалось найти способ гарантированной остановки топлива

Динамика опускания плоского слоя топлива на охлаждаемую водой сплошную плиту (показана белым). Топливо вначале растекается по плите, затем затвердевает.



с помощью сплошной плиты-ловушки, охлаждаемой водой. А 9 мая В. Д. Письменный с результатами расчетов выехал в Чернобыль. Его энергичные действия, а также всесторонняя поддержка и помощь заместителя министра среднего машиностроения А. Н. Усанова сыграли определяющую роль в быстрой установке ловушки. В короткое время по расчетным данным сотрудники ВНИПИЭТ спроектировали плиту размером 30×30 м со специальным защитным покрытием. А дальше в работу включились шахтеры и метростроевцы, которые и смонтировали эту плиту под фундаментом блока.

Было ли неизбежным проплавление плиты фундамента? Расчеты, проведенные нами в мае 1986 г., показали, что во многих сценариях движение топлива прекращается даже без специальных мер. Скажем, топливо может остановиться, если оно растечется по большой площади и за счет излучения отвод тепла окажется достаточен, чтобы расплав затвердел. Однако эта стадия может снова смениться проплавлением после длительного нагрева строительных конструкций излучением и их обрушения, если топливо будет засыпано, из-за чего опять начнет разогреваться. При аварии, когда точное прогнозирование условий теплосъема невозможно, приходилось учитывать все сценарии, а также тяжесть последствий проникновения больших масс высокоактивного топлива в грунт и грунтовые воды. Поэтому, несмотря на возможность остановки топлива в нижних помещениях блока (подреакторные помещения, парораспределительные коридоры, бассейн-барботер), ловушка рассчитывалась на самые неблагоприятные варианты.

Достигнутое за короткое время понимание закономерностей поведения топлива позволило не только обосновать и разра-

ботать систему его удержания, но и предотвратить принятие решений, которые могли ухудшить ситуацию. В частности, казалось естественным залить бетоном помещения бассейнов-барботеров и тем самым либо остановить, либо замедлить движение топлива вниз (такие варианты рассматривались в мае 1986 г.). Однако в этом случае могло произойти обратное. Бетон сыграл бы роль теплоизоляции, и топливо, дойдя по паросбросным трубам до первого этажа бассейна-барботера, попало бы на плиту фундамента. При этом свободное растекание топлива и его остановка при охлаждении за счет излучения стали бы невозможными, и плита могла бы проплавиться. Вот почему мы считали опасным заливать бетон в нижние помещения блока и категорически возражали против этой идеи.

Долгое время после аварии вопрос о реалистичности использованных нами моделей оставался открытым, к тому же некоторые зарубежные программы давали результаты, отличные от наших. Критика особенно усилилась, когда стало ясно, что до проплавления фундамента дело не дошло и плита-ловушка не понадобилась. Первые наблюдения, необходимые для понимания хода аварии после разрушения реактора, провела Комплексная экспедиция ИАЭ. В мае 1988 г. при бурении шахты реактора выяснилось, что у части плиты толщиной 1,8 м, служившей опорой поддерживающего реактор стального креста, структура разрушена на глубину около 1 м, и вместо бетона в кернах оказалась смесь песка с топливом. В июле 1988 г. в бассейне-барботере были обнаружены металлические конструкции, расплавившиеся под действием выделенного топливом тепла. Сотрудники Радиового института и Комплексной экспедиции ИАЭ детально обследовали бассейн-барботер и провели поиск массивов, содержащих реакторное топливо, с помощью коллимированных  $\gamma$ -детекторов.

Полная картина перемещения топлива, разрушения строительных конструкций и распределения топлива в здании еще уточняется. Однако уже ясно, что во время аварии топливо проплавляло строительные конструкции и значительная его часть (тонны) достигла помещений непосредственно над плитой фундамента. Даже при сооружении Саркофага бетон, который заливали в его стены, мог накрыть застывшее топливо и сыграть роль теплоизоляции, а оно — вновь начать плавиться.

При строительстве Саркофага была также смонтирована система принудительной воздушной вентиляции для конвектив-

ного теплосъема в случае нарушения теплового равновесия. Вопросы тепловой безопасности нужно учитывать при выборе вариантов дальнейшей консервации блока. Несмотря на то, что остаточное тепловыделение по сравнению с сентябрем 1986 г. сейчас упало более чем в 100 раз, полная изоляция топлива может привести к медленному (за годы) разогреву его на сотни градусов.

После установки ловушки наша группа в июле—сентябре 1986 г. продолжала работу в Чернобыле. Круг вопросов, которыми приходилось заниматься, был достаточно широк — от создания компьютерного банка данных по радиационной обстановке в 30-километровой зоне до измерений спектральных характеристик  $\gamma$ -излучения над развалом реактора. За короткое время удалось создать модели и программы для описания разных процессов. Так, в конце июля выяснилось, что наземный контроль за радиационной обстановкой в зоне, непосредственно прилегающей к 4-му блоку, недостаточен, поскольку загрязнение чрезвычайно неоднородно и часто меняется из-за переноса пыли, вызванного работами на площадке. Данные наземных замеров не позволяли проследить за динамикой радиационной обстановки в целом и оценить эффективность дезактивационных работ. За неделю мы отработали методику измерений с вертолета и написали программу для восстановления распределения радиоактивных веществ по результатам таких измерений. Еще через неделю на персональном компьютере была получена первая карта распределения плотности радиоактивного загрязнения в зоне блока. Немалый вклад в успех этой работы внес экипаж военного вертолета, с которым мы по 7—8 часов в день летали над площадкой ЧАЭС.

За время работ теоретики накопили опыт, который нередко позволял им, опираясь на простые соображения и физическую интуицию, делать достаточно точные оценки ситуации. Как-то физикам, находившимся в Чернобыле, пришлось «соревноваться» с ЭВМ, работавшей в Филиале ИАЭ в г. Троицке. Срочно понадобилось оценить запас радиоактивности, сосредоточенной в «рыжем лесу». Это было необходимо, чтобы представить последствия возможного пожара и вызванного им подъема радиоактивности в атмосферу. Приводились устрашающие значения, которые говорили о том, что при пожаре существенно ухудшилась бы радиационная обстановка не только внутри, но и за пределами 30-километровой зоны. Задачу сформулировали и передали в Троицк для расчетов. Однако по ряду причин там

не смогли быстро отладить программу. Пришлось решать задачу вручную, а утром докладывать результат на заседании правительственной комиссии. Днем получили из Троицка результаты расчетов, и сообщенная величина отличалась от рассчитанной вручную примерно на 20 %, что заведомо было лучше, чем точность самих исходных данных.

Возникали сложности и с интерпретацией измерений мощности дозы над реактором. Согласно ежедневным измерениям, проводившимся с мая, на высоте 200 м она менялась за сутки на 30—40 %, то уменьшаясь, то увеличиваясь. Последнее понималось как признак активизации процессов в разрушенном блоке, что вызывало большие опасения. Наша группа подключилась к измерениям в июле 1986 г. Проведенный анализ и последующие контрольные замеры позволили доказать, что нестабильность значений связана не с изменением мощности дозы, а с некорректностью методики измерений. Вскоре мы предложили методику с использованием той же аппаратуры, позволившую уменьшить разброс показаний и от-

слеживать реальные изменения мощности дозы. Эти результаты показали монотонный ее спад, в основном объяснявшийся строительством Саркофага.

Такие случаи, когда стандартные методики измерений, расчетов, справочные коэффициенты не подходили к реальной ситуации, возникали многократно. И тогда надо было проводить анализ проблемы, исходя из первичных фундаментальных принципов, модифицировать технику измерений и методики расчетов. Не случайно заметную часть проблем, возникавших при ликвидации последствий аварии, решали научные группы, прежде занимавшиеся фундаментальными исследованиями: сотрудники отдела ядерных констант Радиевого института, отделений ядерной физики, физики плазмы, молекулярной физики и отдела релятивистских пучков Института атомной энергии, Филиала ИАЭ.

К началу октября 1986 г., когда строительство Саркофага вошло в завершающую стадию, работа группы была перенесена из Чернобыля в Москву.

## А. А. Боровой **Внутри и вне Саркофага**

**О** ДНА из важнейших задач, которые возникли при ликвидации последствий чернобыльской аварии, — безопасное и долговременное захоронение ядерного топлива, оставшегося в развалинах 4-го блока. Чтобы локализовать это топливо и защитить окружающую территорию от проникающей радиации, построено сооружение, которое в технической литературе называют «Укрытием 4-го блока ЧАЭС», а в прессе — «Саркофагом». Его строительство завершено в ноябре 1986 г. Этим был сделан принципиальный, но, к сожалению, не окончательный шаг на пути к решению проблемы захоронения топлива.

По расчетам проектировщиков, Саркофаг должен простоять 20—30 лет, выдерживать 6-балльное землетрясение и ураганные ветры. Однако гарантировать, что разрушенные взрывом и пожаром сотни помещений бывшего 4-го блока останутся под этим сооружением в прежнем состоянии, было нельзя. С уверенностью следовало предположить как раз обратное: разрушения с годами бу-

дут возрастать и, таким образом, расположение ядерного топлива в помещениях блока должно меняться.

Такое предсказание означало, что со временем может возрасти опасность трех видов: ядерная, радиационная и тепловая.

Обсудим это подробнее.

Перемещение масс топлива могло придать им такую конфигурацию, при которой самоподдерживающаяся цепная реакция стала бы более вероятной или даже началась, что неизбежно сопровождалось бы новым выбросом радиоактивности в окружающую среду (ядерная опасность).

При больших обрушениях не исключалась и возможность выброса радиоактивной пыли через щели за пределы Саркофага (радиационная опасность).

Эти же обрушения, перекрыв пути естественного охлаждения топлива, могли вызвать его повторный разогрев и, в итоге, опять-таки попадание радионуклидов в окружающую среду — скажем, по сценарию «китайского синдрома» (тепловая опасность).

Не следует думать, что все эти опасные явления могли бы привести к последствиям, хотя бы в отдаленной степени напо-



Александр Александрович Боровой, доктор физико-математических наук, заместитель по науке начальника Комплексной экспедиции при Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова в г. Чернобыле. Научные интересы связаны с физикой нейтрино и слабыми взаимодействиями, а также методами регистрации ядерных излучений.

минающим последствия самой аварии. Но они потребовали бы новых сил и средств для дезактивации, увеличили бы коллективную дозу облучения работающих на площадке и принесли бы огромный моральный и материальный ущерб. Нельзя было допустить, чтобы 4-й блок вновь «задышал». Поэтому сразу же после создания Саркофага начались интенсивные работы по предотвращению этих опасностей. Они ведутся и в настоящее время.

#### КОЛИЧЕСТВО ТОПЛИВА В САРКОФАГЕ

Чтобы дальнейшее изложение было понятно, необходимо остановиться на двух вопросах: что представляло собой топливо к моменту аварии и сколько его осталось внутри Саркофага.

Блок был пущен в декабре 1983 г. и к 26 апреля 1986 г. проработал 865 дней. Топливо — двуокись урана — размещалось в

нем в 1659 кассетах. Полная загрузка собственно урана составляла 190,2 т. Три четверти кассет проработали всю кампанию, именно они определили содержание в активной зоне долгоживущих биологически значимых радионуклидов (таблица).

После аварии  $\alpha$ -активность топлива определялась относительно короткоживущим (период полураспада  $T_{1/2} \approx 160$  дней)  $^{242}\text{Cm}$ . Сегодня первенство перешло к изотопам плутония, однако ненадолго: из-за  $\beta$ -распада  $^{241}\text{Pu}$  накапливается  $^{241}\text{Am}$  ( $T_{1/2} = 430$  лет), и через 10 лет его активность уже составит около 50 % суммарной  $\alpha$ -активности топлива.

Основная  $\beta$ - и  $\gamma$ -активность связана, помимо  $^{241}\text{Pu}$ , со стронцием и цезием ( $T_{1/2} \approx 30$  лет), чье радиационное воздействие уменьшится на порядок только через 10 лет.

Активная стадия аварии продолжалась 10 сут (с 26 апреля по 6 мая 1986 г.). Все это время шел интенсивный выброс радиоактивности. В первые дни горячая струя поднималась на высоту более 1 км, позднее — на сотни метров.

Количество и состав выбрасываемой радиоактивности (а следовательно, и оставшейся в разрушенном блоке) определяли, используя все доступные методы, но сложные условия работы не позволили сделать это с погрешностью менее 50 %.

Параллельно с оценками выброса велись измерения зараженности почвы, воды и воздуха. Такие измерения на тысячах квадратных километров, в сотнях населенных пунктов весьма трудоемки. В общем случае трудно даже представить пути решения этой задачи за сроки порядка месяцев. Но исследователям помогла специфика аварии: радионуклиды (за исключением инертных газов и летучих веществ типа иода, цезия, теллура) были выброшены в составе мелкодиспергированного топлива. Поэтому кропотливые радиохимические анализы могли быть заменены более простыми измерениями  $\gamma$ -активности (в частности, активности  $^{144}\text{Ce}$ ).

#### Содержание биологически значимых радионуклидов в реакторе к моменту аварии

Радионуклид	Вид активности	$T_{1/2}$ , год	Масса, кг	Активность, Ки
$^{238}\text{Pu}$	$\alpha$	86	1,5	$2,5 \cdot 10^4$
$^{239}\text{Pu}$	$\alpha$	$2,4 \cdot 10^4$	420	$2,6 \cdot 10^4$
$^{240}\text{Pu}$	$\alpha$	$6,5 \cdot 10^3$	175	$4 \cdot 10^4$
$^{241}\text{Pu}$	$\beta$	14	50	$5 \cdot 10^6$
$^{137}\text{Cs}$	$\beta, \gamma$	30	81	$7 \cdot 10^6$
$^{90}\text{Sr}$	$\beta$	29	43	$6 \cdot 10^6$

К середине июля 1986 г. институты Минсредмаша, Госкомгидромета, АН СССР, Министерства обороны независимо выполнили измерения и расчеты, показавшие, что за пределы 4-го блока выброшено от 2 до 6 % первоначальной загрузки (от 4 до 12 т топлива).

К тому времени уже действовала система определения загрязнений, включавшая измерение  $\gamma$ -полей над поверхностью Земли с помощью аэрогаммаразведки (первое приближение), оперативное исследование почвенных проб (уточнение по корреляции с активностью  $^{144}\text{Ce}$ ), тщательные радиохимические анализы (проверка коэффициента корреляции для данной местности). На совещании МАГАТЭ в Вене (август 1986 г.) советские специалисты сообщили о результатах расчетов: радиоактивные инертные газы выброшены почти полностью; выброшено значительное количество иода,  $(13 \pm 7)$  % цезия,  $(3 \pm 1,5)$  % топлива, содержащего продукты деления и трансурановые элементы.

Завершая разговор о выбросе, скажем, что за прошедшие годы его оценка уточнилась. Сейчас на основании банка данных, содержащего полные сведения о десятках тысяч почвенных проб, можно утверждать, что из 4-го блока выброшено  $3,5 \pm 0,5$  % топлива.

Что касается летучего  $^{137}\text{Cs}$ , то первоначальная оценка его выброса, с нашей точки зрения, оказалась заниженной. По сегодняшним представлениям, его выброшено 1,5—2 МКи (25—30 % содержания в активной зоне).

## СОЗДАНИЕ НОВЫХ БАРЬЕРОВ БЕЗОПАСНОСТИ

При аварии все барьеры безопасности, предусмотренные создателями реактора, были сразу же разрушены взрывом, поэтому требовалось в кратчайший срок возвести новые преграды для ядерной, радиационной и тепловой опасности. Как это делалось, хорошо известно: в шахту реактора сбрасывали различные материалы. Часть из них (поглощающие нейтроны соединения бора) должна была обеспечить ядерную безопасность, другая (доломит, песок, глина) — создать фильтрующий слой и уменьшить выброс активности, третья — (свинец) — поглотить выделяющееся тепло. Всего было сброшено почти 5 тыс. т материалов.

Жаркие споры о необходимости такого мероприятия и о его последствиях шли и до, и после его осуществления. Особенно острой критике подвергалось решение об использовании свинца, который, плавясь и

испаряясь, мог дополнительно загрязнить окружающую среду. И только три года спустя, после большого комплекса разведывательных работ, стало ясно, что спорить не о чем: в саму шахту реактора если и попала, то лишь малая доля сброшенных материалов, основная их часть образовала холмы высотой до 15 м в центральном зале. Не удалось также перекрыть все пути выхода воздуха из шахты, т. е. создать полноценный фильтрующий слой. Причина — неблагоприятная геометрия разрушений.

В первые недели проводились и другие защитные мероприятия, например, под шахту реактора для охлаждения активной зоны и снижения концентрации кислорода подавался жидкий азот.

Весьма опасным представлялся «китайский синдром», для предотвращения которого под фундаментом здания соорудили теплообменник. И хотя летом 1988 г. при бурении скважин обнаружили, что «синдром» не смог развиться до опасных пределов, можно утверждать, что при том объеме данных о состоянии блока, который мы имели в мае 1986 г., было принято верное решение.

Готовы ли мы вообще ответить на вопросы об эффективности мероприятий, проводившихся в то время? В частности, соизмеримы ли были результаты с затратами? (Я имею в виду не только материальные затраты, но и увеличение коллективной дозы, полученной работавшими.) Думаю, еще не готовы. Однозначного сценария хода аварии пока нет, поэтому откладывается и полный анализ эффективности принятых мер. Тем более нельзя было требовать такого анализа в апреле и мае 1986 г.

## КАК СОЗДАВАЛИ САРКОФАГ

Наступление на разрушенный блок началось сразу же после аварии. Во-первых, велась дезактивация прилегающей территории, разбросанные взрывом радиоактивные обломки и грунт из наиболее загрязненных мест собирались в контейнеры. Использовалась самая разная строительно-дорожная техника, в том числе изготовленная в Польше, Финляндии, ФРГ, Японии. Место водителя защищалось свинцом, а воздух поступал через фильтры. Некоторые машины были оборудованы аппаратурой теленаблюдения. Контейнеры позднее помещали в разрушенный блок или вывозили в места захоронения — «могильники». Во-вторых, после предварительной очистки территорию вокруг блока покрыли слоем щебня, песка и бетона толщиной до 1,5 м.

Пока делались эти первые шаги,

конструкторы разрабатывали варианты Саркофага. Никто еще не решал задачи такой сложности и масштабов, к тому же без достоверной информации о состоянии топлива внутри блока и степени разрушения строительных конструкций — проектирование и строительство пришлось вести одновременно с получением такой информации. Понадобилось проработать 18 вариантов проекта, чтобы выбрать из них окончательный. И все же Саркофаг спроектировали за месяц.

Строительство начали с создания стен, отделяющих 4-й блок от 3-го. Чтобы закрыть радиоактивные обломки с северной стороны блока, возвели стену, поднимающуюся гигантскими 12-метровыми уступами. Каждый следующий уступ строили под прикрытием предыдущего. Западная сторона Саркофага (контрфорсная) собрана из металлических секций общей массой почти в 1000 т. Для перекрытия на высоте 60 м установили 165-тонную стальную раму, на которую уложили 27 труб большого диаметра. Боковые скаты собрали из огромных стальных конструкций — «клюшек». Наконец, все это накрыли металлической кровлей. Строительство завершилось в ноябре 1986 г.

При строительстве немало бетона протекло в разрушенное здание, затруднив или сделав невозможным проход во многие помещения. С другой стороны, то, что большую часть топлива покрыл слой «свежего» бетона, значительно улучшило радиационную обстановку и облегчило разведку других помещений.

#### РАЗВЕДКА ПРИ СООРУЖЕНИИ САРКОФАГА

Пока строился Саркофаг, внутри и вне аварийного блока велись разведывательные и диагностические работы. Для визуальных наблюдений, фото- и телесъемок, измерения радиационных полей, отбора проб аэрозолей использовались вертолеты. Они же доставляли в развал диагностические приборы. Такие работы требовали большой изобретательности, хорошей подготовки и мужества. Но не менее важными были эти качества для разведки внутри блока. Вопреки оптимистическим замечкам журналистов, не нашлось ни отечественных, ни зарубежных роботов, способных вести разведку среди завалин, в огромных радиационных полях. Если роботы не ломались на старте, они застревали в самых неподходящих местах или вообще отказывались «повиноваться» в мощных полях излучения. Поэтому разведку

вели люди, чаще всего с помощью здесь же усовершенствованных серийных дозиметров, лабораторных приборов, клинических дозиметров, различных накопителей дозы, теплотрических устройств.

Разведчикам удалось пройти, проползти, а чаще всего пробежать по многим помещениям блока и установить там постоянные контрольные приборы. Они, в частности, не увидели проплавлений и разрушений перекрытий на самых нижних этажах, а это означало, что «китайский синдром» там пока не проявился.

К июлю были измерены радиационные поля возле масс топлива, попавших через паровые коммуникации на нижние отметки здания. Вблизи них мощность дозы имела порядок  $10^3$ — $10^4$  Р/ч.

В этой статье нет возможности рассказать о всех методах диагностических исследований, в том числе родившихся во время «мозговых штурмов» — чаепитий, в которых участвовали самые разные специалисты. Упомянем лишь о программе «Буй».

Собственно, сам «буй» — это диагностическое устройство в форме усеченного конуса, начиненное гамма-камерами, измерителями скорости и направления воздушного потока, датчиками температур и тепловых потоков. Каждый буй имел кабель длиной 250 м, свободный конец которого крепился к вертолету или крану «Деаг», доставлявших его в заданную точку. Аппаратура, обрабатывавшая сигналы от буев, размещалась в сохранившихся и относительно защищенных от радиации помещениях 4-го блока. Подготовка программы заняла около двух месяцев, размещение детекторов — 10 дней.

Установленные 15 буев (около 160 различных детекторов) давали ценнейшую информацию о состоянии разрушенного реактора. Они действовали до конца сентября 1986 г., когда при строительных работах пришлось вывести из строя кабели связи с центральным пультом.

Результаты этих измерений, в частности, показали, что радиационные поля и тепловые параметры разрушенного блока монотонно уменьшаются в соответствии с расчетами, т. е. опасные тенденции в поведении топлива отсутствуют.

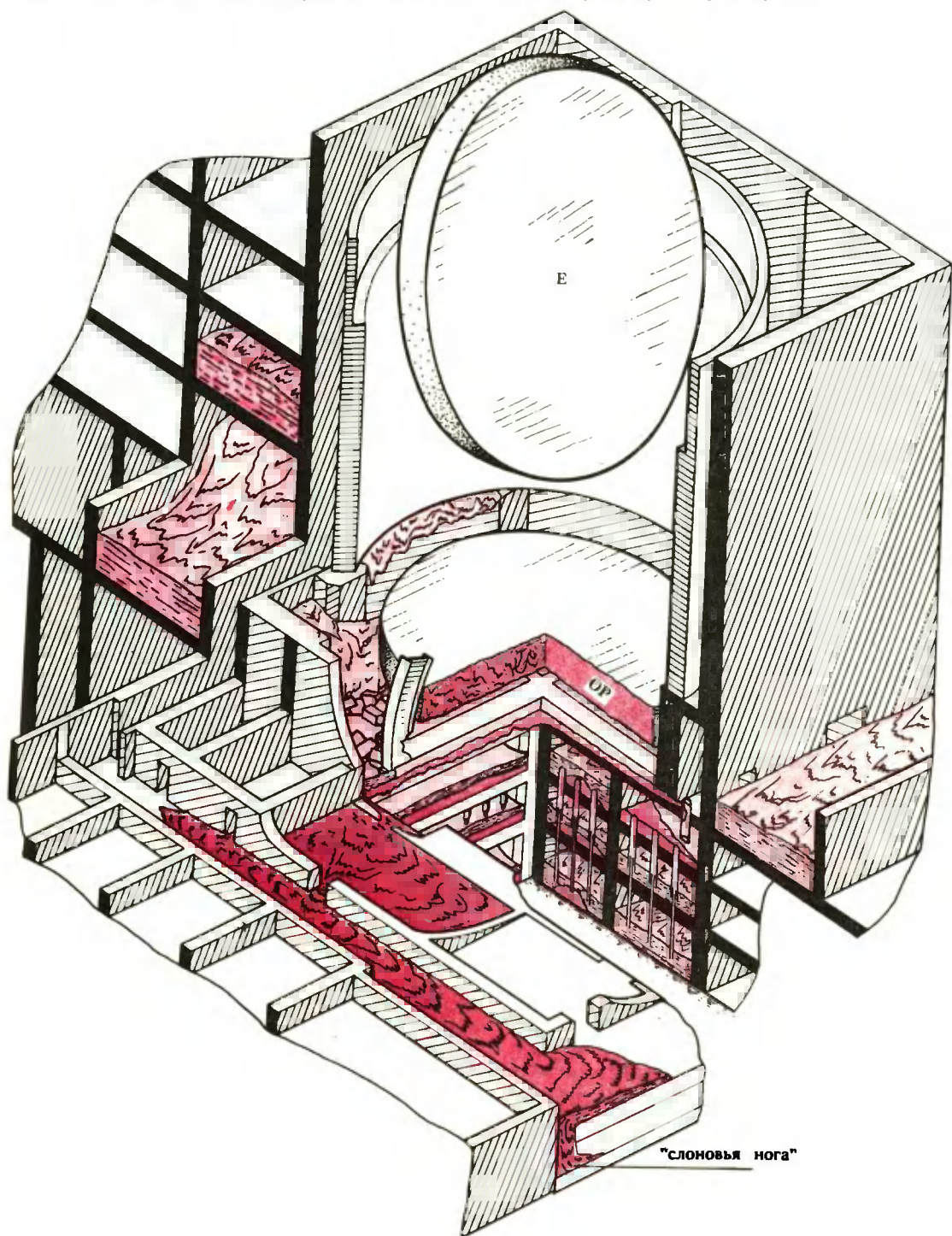
#### ПЛАН РЕШИТЕЛЬНОГО НАСТУПЛЕНИЯ

К концу 1987 г. уже снова работали два блока ЧАЭС и оставались считанные дни до пуска третьего. Требовалось определить степень ядерной опасности топлива в Саркофаге. По нашим сведениям, топливо

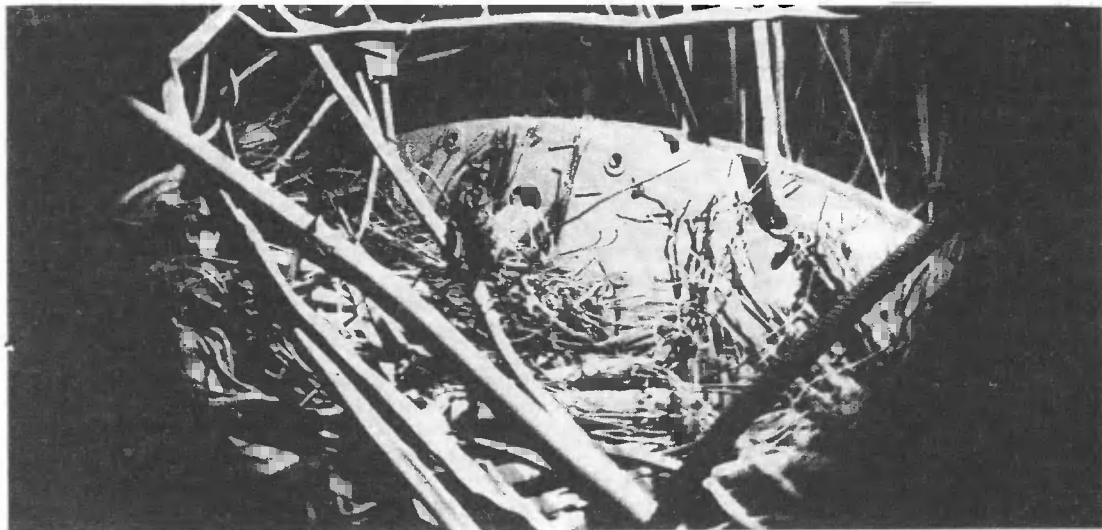


Разрез разрушенного блока, построенный по результатам последних исследований. Бетон, попавший в блок при строительстве Саркофага, обозначен насыщенным цветом, содержащая топливо ла-

ва — насыщенным. Не показаны остатки каналов и графитовой кладки, лежащие слоем на плите «Основание реактора» (OP), а также трубы, свисающие с верхней крышки реактора (E).

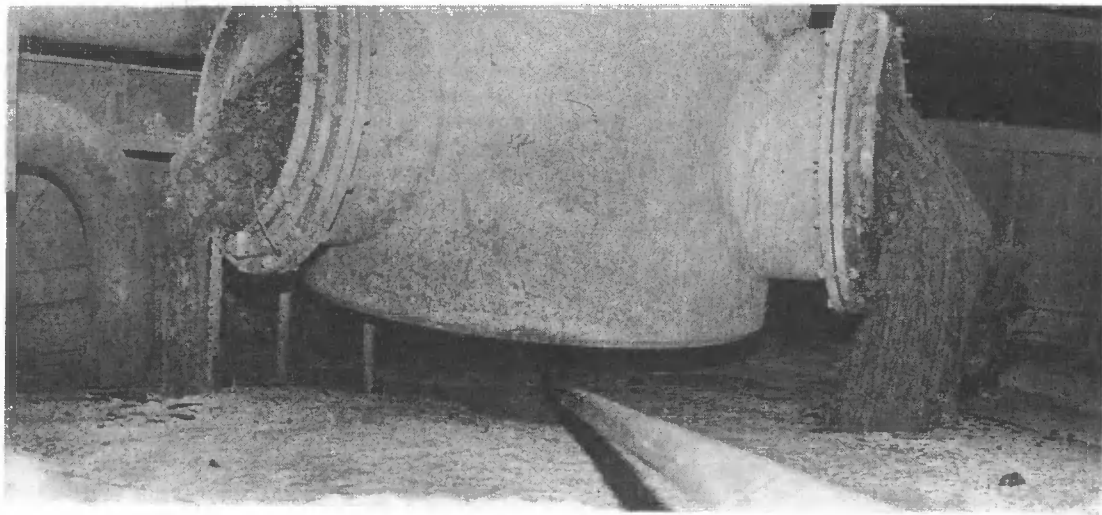


"слоновья нога"



Снимок, сделанный через перископ, который сквозь пробуренную скважину выданут в шахту реактора. Вместо регулярной кладки графита и каналов в активной зоне — пустое пространство и остатки труб, свисающих со вставшей почти вертикально верхней крышки реактора.

Застывшие потоки лавы из смеси топлива с песком или бетоном, которые вытекли из клапана в парораспределительном коридоре под реактором.



в Саркофаге находилось в разрушенном центральном зале и под каскадной стеной (часть выброшенной при взрыве), в специальном бассейне, где до аварии хранились отработанные твэлы, в шахте реактора (остатки активной зоны), в нижних помещениях блока, куда расплавленное топливо протекло в результате аварии.

Наибольшую ядерную опасность представляли остатки активной зоны в шахте реактора и скопления топлива в нижних этажах. Нужно было максимально прибли-

зить к ним диагностические приборы, а при необходимости — ввести в топливо поглотители нейтронов.

Поэтому решено было очистить и дезактивировать помещения с западной стороны Саркофага, установить в них бурильные станки и через бетонные стены, песчано-гравийную смесь и бак водяной защиты пробурить скважины как в шахту реактора, так и в подреакторные помещения.

Это позволило бы с помощью перископов и телекамер осмотреть недоступные

ранее помещения, определить степень их разрушения и места скопления топлива, а затем подвести к ним детекторы нейтронов,  $\gamma$ -излучения или приборы теплового контроля.

## В САРКОФАГЕ

По мере проникновения к эпицентру аварии прояснялось истинное состояние разрушенного реактора. Модельные представления, использовавшиеся в 1986—1987 гг., во многом не подтвердились.

Оказалось, что в шахте реактора сохранилась лишь малая часть фрагментов активной зоны, а верхняя крышка реактора весом более 2000 т наклонена под углом  $15^\circ$  к вертикали и опирается с одной стороны на край металлического бака, с другой — на лежащую на нем железобетонную плиту. С крышки свисает множество оторванных технологических труб. Нижняя крышка после взрыва опустилась на 4 м, смяв массивную крестообразную металлоконструкцию в подреакторном помещении, а примерно четверть ее полностью разрушена.

В основании реактора обнаружен завал из графитовых блоков, конструкционных элементов и «свежего» бетона, залившего и подреакторное помещение, куда попала значительная часть топлива. Расплавив песок, серпентинит, бетон и другие материалы, топливо образовало потоки, напоминающие лавовые, которые через паросбросные клапаны и трубы, кабельные каналы и иные отверстия проникли в парораспределительный коридор, бассейн-барботер, другие коридоры и помещения в нижней части блока. «Лава» застыла в виде множества сталагмитов и наплывов (наплывы с наибольшей активностью получили название «слоновья нога»). Химический состав лавы сильно варьируется, но в ней неизменно присутствует до 20 %  $UO_2$  в виде частиц размером от единиц до сотен микрон.

В 1987 г. лава отличалась высокой прочностью, и, чтобы отколоть куски «слоновья нога», применяли стрелковое оружие. Теперь же она утратила твердость, стеклянный блеск и постепенно разрушается, превращаясь в топливную пыль — модификацию топлива, представляющую наибольшую радиационную опасность.

## ТОПЛИВНАЯ ПЫЛЬ

Если количество мелкодиспергированного топлива в выбросе оценивается в 6—8 т, то масса топливной пыли внутри Саркофага гораздо больше. Во многих помещениях она

внедрилась в стены и потолок, покрывает пол, висит в воздухе. Когда начали бурить скважины, стремясь проникнуть в 4-й блок, она стала одной из основных помех. Физико-химические свойства топливной пыли («горячих топливных частиц») уже достаточно изучены. В Саркофаге и ближней зоне ЧАЭС наблюдаются в основном два их типа: крупные (десятки микрон), состоящие из одного или нескольких зерен  $UO_2$ , по границам которых разрушались топливные таблетки при взрыве, и мелкие (несколько микрон), образовавшиеся при горении графита, окислении топлива и взаимодействии его с окружающими материалами.

Среднее содержание топлива в мелких частицах — несколько процентов (остальное — неактивный носитель), а уран в них присутствует в форме оксидов со средним составом  $UO_{2,9}$ . Именно эти частицы определяют радиоактивность аэрозолей внутри Саркофага.

В связи с этим медикам и биологам предстояло ответить на ряд вопросов: что опаснее — активность, равномерно распределенная в легких, или присутствующая там в виде нескольких частиц?

как быстро выводятся из легких топливные частицы?

применимы ли нормы предельно допустимой концентрации радионуклидов в воздухе к топливной пыли?

В 50—60-х годах уже изучали горячие частицы, образующиеся при ядерных взрывах, и пришли к заключению, что они во всяком случае не опаснее, чем распределенная активность. Однако те частицы содержали только  $\alpha$ -активные радионуклиды, а чернобыльские — целый «букет», в том числе излучатели  $\beta$ -частиц с гораздо большим, чем у  $\alpha$ -частиц, пробегом. Поэтому прежний опыт здесь применим не в полной мере. Биологические и медицинские исследования роли горячих частиц начаты с большим запозданием, и на поставленные вопросы еще нет ответов. А пока для предохранения работающих в Саркофаге людей от аэрозолей используются средства индивидуальной защиты и дезактивация помещений, опробуются специальные системы очистки воздуха.

## СУЩЕСТВУЕТ ЛИ ЯДЕРНАЯ ОПАСНОСТЬ?

Проникнув внутрь Саркофага, удалось приступить к определению ядерной опасности топлива. Для трех обнаруженных модификаций (остатки активной зоны, застывшая

лава и мелкодиспергированная пыль) были установлены критические (с точки зрения ядерной опасности) геометрия и физико-химический состав.

Затем по визуальным и теленаблюдениям, результатам тепловой и радиационной разведки выявили потенциально опасные места и оценили общую массу топлива в них, его химический и изотопный состав. Затем по этим уточненным данным вновь рассчитывалась степень ядерной опасности. Окончательную проверку давали нейтронные исследования — пассивные и активные. В первых использовались источники нейтронов, имеющиеся в облученном топливе — трансурановые элементы ( $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{242}\text{Cm}$  и  $^{244}\text{Cm}$ ), испускающие нейтроны при спонтанном делении. Если отношение измеренного потока  $\Phi_z$  к расчетному  $\Phi_p$  больше 1, то это означает, что в скоплениях топлива нейтроны могут размножаться.

Во втором методе нейтроны от импульсного нейтронного генератора инжектировались в топливную массу и измерялось время спада их потока после инжекции.

Результаты позволяют однозначно заключить, что массы топлива в Саркофаге подкритичны и самоподдерживающаяся реакция невозможна даже при постепенном разрушении здания и перемещении топлива.

## БУДУЩЕЕ САРКОФАГА

На первое место теперь выдвинулась радиационная опасность. При обрушении строительных конструкций внутри Саркофага радиоактивная пыль через щели в кровле и стенах (а суммарная площадь таких щелей оценивается в  $1000 \text{ м}^2$ ) может выйти наружу. Наибольшие опасения вызывают неустойчивые железобетонные конструкции верхней части разрушенного блока, висящая над шахтой реактора верхняя крышка, частично сожженный и испытывающий значительные механические и тепловые нагрузки пол подреакторного помещения и т. п. Поэтому при любом варианте долговременного захоронения топлива сначала необходимо укрепить эти конструкции.

Что же дальше?

На многочисленных обсуждениях высказываются самые разные предложения (в частности, о полной разборке Саркофага, перезахоронении радиоактивности и разбивке на месте 4-го блока зеленой лужайки). Но внешняя эффективность проекта еще не свидетельствует о его экономической и экологической эффективности. Поэтому попробуем рассуждать последовательно. Прежде всего следует оценить, насколько возмож-

но и целесообразно поддерживать безопасное состояние Саркофага в течение, скажем, 10—15 лет. Конечно, полная оценка требует много времени и еще не готова. Однако ясно, что со временем коррозия металлических конструкций, разрушение отдельных бетонных блоков и плит заставят почти непрерывно вести работы по укреплению отдельных конструкций, расположенных внутри объекта. А это потребует больших материальных затрат, связано с облучением людей и к тому же имеет смысл лишь в том случае, если после станет возможна полная или частичная разборка объекта.

Пока даже для частичной разборки Саркофага, содержащего десятки тонн радиоактивной пыли, сотни тонн высокоактивной лавы, тысячи тонн сильно загрязненного бетона, нет пригодных технических средств и решений. Только очистка и укрепление конструкций в машинном зале аварийного блока, проведенные в 1988 г., потребовали материальных затрат в десятки миллионов рублей и напряженной работы тысяч людей в условиях повышенных радиационных полей в течение года. А, по оценкам, в машинном зале находилось почти в сто раз меньше топлива, чем в Саркофаге, причем там оно было в открытом, относительно удобном для удаления виде. Так что вариант «зеленой лужайки» в ближайшие десятилетия представляется весьма проблематичным.

Думается, более приемлем другой вариант. В ближайшие годы внешнюю часть Саркофага нужно будет перестроить. Созданный при этом объект «Укрытие-2» должен быть настолько прочным и герметичным, чтобы любые внутренние обрушения не отражались на его прочности и не ухудшали радиационную обстановку на площадке. При этом отпадут надобность в сложных операциях по поддержанию безопасного состояния конструкций Саркофага и все трудности, связанные с его разборкой. Дистанционные методы строительства позволят минимизировать дозы облучения людей.

Объект «Укрытие-2», созданный на сотни лет, резко упростит долговременное хранение топлива в разрушенном блоке и высвободит значительные средства для других работ по ликвидации последствий аварии. В то же время он позволит потомкам при желании и умении осуществить проект «зеленой лужайки».

Конечно, эти предложения не исключают подробную проработку других вариантов долговременного захоронения топлива, которая должна быть закончена в ближайшем будущем.

# Н. Ф. Глазовский АРАЛЬСКИЙ КРИЗИС

## ЭТАПЫ ОСОЗНАНИЯ ПРОБЛЕМЫ

Расширение орошаемых площадей в Аральском регионе в начале 60-х годов проходило на фоне многообещающих авансов, сулящих резкое повышение уровня жизни в республиках Средней Азии, обеспечение их мясом и рисом, превращение региона во всесоюзный сад и огород, значительное увеличение валютных поступлений в страну в результате продажи хлопка и изделий из него. Эти авансы подкреплялись постановлениями ЦК КПСС и Совета Министров СССР.

Одним из парадоксов этой всеобщей эйфории было то, что у многих мелиораторов и руководителей разных рангов легкость решения проблемы связывалась с быстрым осуществлением проекта переброски части стока сибирских рек в бассейн Арала. Активная деятельность главного инженера проекта И. А. Герарди создавала иллюзию, что вопрос о переброске уже решен и дело только за тем, чтобы разработать ее оптимальный вариант. Сверхоптимистические прогнозы развития сельского хозяйства на орошаемых землях заслонили Аральское море — оно, так сказать, отошло на второй план. К сожалению, и наука внесла в это свою лепту. Дело в том, что в 60-х — начале 70-х годов стала популярной точка зрения, высказанная еще в 1908 г. известным географом А. И. Воейковым, что Арал — ошибка природы, и его существование, с точки зрения рационального ведения хозяйства, совершенно неоправданно. Немудрено, что еще в середине 20-х годов среднеазиатские мелиораторы предлагали снизить его уровень для развития ирригации на осушенном морском дне.

«Использование речных вод на орошение сулит несравненно больший экономический эффект, чем при стоке их в Арал», — писал в 1969 г. известный исследователь Средней Азии С. Ю. Геллер<sup>1</sup>. О цене эколо-

логических последствий тогда не задумывались.

Но уже в начале 70-х годов появились работы, в которых предполагалось, что изменения природной среды в Приаралье будут значительными и для сохранения дельты предлагалось подавать в них ежегодно несколько кубических километров речных вод<sup>2</sup>. Были предложены также первые проекты частичного спасения моря путем расчленения его на отдельные водоемы с управляемым водным и солевым режимом<sup>3</sup>. В 1975 г. начала работу комиссия ГКНТ по оценке влияния изменения уровня Арала на окружающую среду и экономику прилегающего региона, зафиксировавшая существование двух точек зрения: падение уровня не вызовет существенных негативных последствий; они будут столь существенными, что уровень необходимо стабилизировать.

С 1975 г. проведено несколько совещаний и конференций по последствиям падения уровня Арала. Так, в 1977 г. в Алма-Ате подчеркивалась необходимость ускорить исследования альтернативных вариантов регулирования водного баланса и солёности Арала. В 1979 г. в Москве была названа основная причина опустынивания в Приаралье — развитие орошения, но не обсуждались ни качество существующих оросительных систем, ни целесообразность их расширения, ни необходимость наведения порядка в мелиоративном хозяйстве. Более того, утверждалось, что только переброска может помочь прекращению опустынивания и развитию производительных сил Приаралья.

Просьба к директивным органам ускорить решение вопроса о переброске сохранилась и в решении конференции «Проблемы Аральского моря и дельты Амударьи» 1980 г. в Нукусе, констатирующей продолжающееся ухудшение среды Приаралья. Однако на этом совещании впервые был поставлен вопрос о необходимости переустройства и реконструкции оросительных

© Глазовский Н. Ф. Аральский кризис (окончание).

\* Окончание. Начало см. в № 10.

<sup>1</sup> Геллер С. Ю. Некоторые аспекты проблемы Аральского моря // Проблемы Аральского моря. М., 1969. С. 6.

<sup>2</sup> Ключанова И. А., Кузнецов Н. Т. // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1971. № 2. С. 79—85.

<sup>3</sup> Львович М. И., Цигельная И. Д. // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1978. № 1. С. 42—54.



Оросительные системы в Каракалпаккии.  
Фотохроника ТАСС.

систем, совершенствовании способов и техники полива, очистке дренажных вод.

Начало 80-х годов — это время, как мне кажется, уже трезвого осознания сложности возникшей ситуации большинством специалистов. В. А. Ковде, И. П. Айдарову и мне пришлось участвовать в работе экспертной комиссии Госплана СССР по комплексному использованию водных ресурсов бассейна Сырдарьи. Было совершенно ясно, что экологические и водные проблемы региона связаны с непродуманным развитием орошения и неудовлетворительным качеством проектирования, строительства и эксплуатации оросительных систем, что мы и записали в своем заключении.

Против неограниченного расширения орошения, неудержимого роста площадей под хлопком и непродуманного применения пестицидов выступали уже многие: сотрудники СОПС Госплана СССР, СОПС АН УзССР, специалисты Минздрава Казахской ССР. Во время работы комиссии АН СССР и общественности под руководством А. Л. Яншина, по существу остановившей европейскую пе-

реброску и уделявшей основное внимание проблемам, связанным с орошением на юге Европейской территории СССР, неоднократно обсуждалась и ситуация в Средней Азии. Однако тогда открытое обсуждение этих вопросов еще было запрещено.

В 1983 г. Институт географии при участии СОПС Госплана СССР и Союзгипроводхоза подготовил и передал в плановые органы и ЦК КПСС «Докладную записку по вопросу о деградации экосистем Аральского моря, дельт Амударьи и Сырдарьи и антропогенном опустынивании Приаралья, вызванном безвозвратным изъятием стока среднеазиатских рек с целью интенсификации орошаемого земледелия». В этой записке был дан анализ состояния природы и, в меньшей степени, хозяйства Приаралья, предпринята попытка оценки экономического ущерба и социальных последствий антропогенного опустынивания Приаралья и падения уровня Арала, а также предложен ряд первоочередных мер по спасению региона.

Несмотря на ограниченность круга рассмотренных вопросов и дискуссионность отдельных положений, это было первое достаточно полное заключение о существовании проблем Приаралья.



Как водится, записка попала к главному заинтересованному лицу — тогдашнему министру мелиорации и водного хозяйства П. Ф. Васильеву. Его ответ сводился к тому, что «записка, хотя и является итогом научно-исследовательских работ, содержит ряд необоснованных и предвзятых суждений и рекомендаций, которые неправильно отражают существо важной народнохозяйственной проблемы и не дают каких-либо конструктивных предложений по улучшению экосистем рассматриваемого региона».

Отзыв, приложенный к ответу министра, подписали академики ВАСХНИЛ Б. Б. Шумаков, Л. Г. Балаев, К. Ф. Артамонов, Ц. Е. Мирцхулава, А. И. Мурашко, члены-корреспонденты ВАСХНИЛ С. М. Мухамеджанов и А. М. Мухамедов. Этот документ заслуживает более подробного изложения.

По мнению авторов отзыва, «записка Института географии... отличается тенденциозностью, прослеживающейся от названия записки до последней ее строки». Важнейшую роль в негативных процессах в Приаралье они отводят таким факторам, «как наступление серии острозасушливых лет, сверхинтенсивная антропогенная деятельность на пустынных пастбищах и на Устюрте». По их мнению, именно в результате неучета этих факторов Институтом географии «складывается и широко прогнозируется мнение о том, что интенсификация орошаемого земледелия в Средней Азии является антагонистом и разрушителем природных комплексов в бассейне Аральского моря... В связи с этим было бы наивным и антигосударственным делом противопоставлять проблему собственно Аральского моря развитию орошения в его бассейне... В целом записка неправильно и тенденциозно представляет всю проблему освоения и орошения пустынных территорий в Приаралье, дезориентирует общественное мнение».

Наконец, в апреле 1987 г. была создана правительственная комиссия по экологической ситуации в бассейне Аральского моря под председательством Ю. А. Израэля. Эта комиссия проделала определенную работу, которая, к сожалению, не обсуждалась научной общественностью достаточно широко. Ю. А. Израэль объяснял это тем, что из-за исключительно острой экологической и социальной обстановки члены комиссии сознательно избегали широкой информации.

На основании доклада комиссии ЦК КПСС и Совет Министров СССР в сентябре 1988 г. приняли постановление «О мерах по коренному улучшению экологической и санитарной обстановки в районе Аральского

моря, повышению эффективности использования и усилению охраны водных и земельных ресурсов в его бассейне»<sup>4</sup>.

В этом постановлении констатировались серьезные недостатки в использовании водных и земельных ресурсов бассейна Аральского моря, ввод в эксплуатацию новых орошаемых площадей без должного учета экологических и социальных последствий. Была дана краткая характеристика состояния природы и хозяйства региона и предложен комплекс мер по оздоровлению природной среды, восстановлению экологического равновесия в Приаралье и роста производительных сил.

В частности, намечено довести приток в дельты Амударьи и Сырдарьи, а также в Аральское море речных вод в 1990 г. — не менее 8,7 км<sup>3</sup>, в 1995 г. — 11 км<sup>3</sup>, в 2000 г. — 15—17 км<sup>3</sup> и к 2005 г. — до 20—21 км<sup>3</sup> (с учетом коллекторно-дренажных вод).

В 1988—2000 гг. предложено реконструировать оросительные системы на площади 3,2—3,3 млн га, построить и переустроить коллекторно-дренажную сеть на площади 1,7—1,8 млн га, сократить удельный расход воды на орошение в бассейне Аральского моря на 15 % к концу текущей пятилетки и на 25 % — к 2000 г.

Одновременно уменьшены задания по вводу в действие орошаемых земель и предложено с 1991 г. приостановить строительство крупных оросительных систем в бассейне Аральского моря.

Предусмотрено срочное строительство объектов водоснабжения и улучшение медицинского обслуживания населения.

В постановлении также подтверждена необходимость предотвращения выноса солей и пыли с обсохшего дна Арала, регулирования уровня и водного режима мелководных участков моря, уточнения комплексных программ развития производительных сил республик Средней Азии и Казахстана, а также ряда других направлений.

Это постановление имеет важное значение в решении аральской проблемы, но вместе с тем не свободно от существенных недостатков.

Поскольку о причинах возникновения аральского кризиса в постановлении сказано лишь в общей форме, приоритетные направления решения экологических, социальных и экономических проблем региона сформулированы нечетко. Постановление допускает дальнейшее расширение орошаемых площа-

<sup>4</sup> Известия. 1988. 29 сентября.

дей. Объемы воды, предусмотренные для сброса в дельты и Арал, недостаточны для решения существующих экологических проблем. Более того, поступление даже этого небольшого количества воды вряд ли реально, так как в постановлении не определены источники, т. е. нет привязки задания к конкретным территориям и исполнителям.

Постановление как бы предопределяет необходимость сброса дренажного стока в Арал, хотя его экологическая допустимость из-за загрязнения вод химикатами вызывает большие сомнения и нуждается в специальном изучении.

При оценке итогов хозяйственной деятельности в регионе проводится сравнение с 1950 г., что методически неверно, так как новое широкое развитие орошения в регионе началось в 60-х годах и, кроме того, именно для 1950 г. характерны наихудшие показатели развития хозяйства в послевоенные годы.

Ничего не говорится о демографической ситуации в регионе и путях решения проблемы роста народонаселения.

Противоречивость постановления выражается и в несогласованности разных этапов действий. В одной из газетных публикаций Ю. А. Израэль отметил, что принято постановление о программе радикальных действий, которая потребует чрезвычайных и дорогостоящих мер, и тут же оговорился, что перспективы экономического и социального развития должны быть обстоятельно и глубоко продуманы<sup>5</sup>. Естественно, возникает вопрос: как же можно принимать дорогостоящую программу без предварительной разработки перспектив развития региона?

Наконец, постановление не подкреплено соответствующим финансовым и материально-техническим обеспечением; скажем, Академии наук СССР поручен ряд важных исследований, но не было выделено на них никаких средств.

Демократизация общества после 1985 г., смягчение ограничений на открытые публикации, посвященные острым экологическим, социальным и экономическим проблемам, вызвали широчайшее обсуждение и аральской проблемы. Были созданы Узбекский и Казахский комитеты спасения Арала, ежегодно в разных городах проводятся многочисленные научные и общественные конференции по аральской проблеме.

Большое значение для осознания этой проблемы общественностью имела органи-

зованная журналами «Новый мир» и «Памир» экспедиция «Арал-88», дни Арала, проведенные в том же году.

В конце 1989 г. группа участников общественного Аральского движения обратилась ко Второму съезду народных депутатов СССР, в Политбюро ЦК КПСС, Верховный Совет СССР и Совет Министров СССР с призывом пересмотреть программу решения аральского экологического кризиса, сместив акценты на решение первоочередных социальных проблем.

В настоящее время создан Научно-исследовательский и координационный центр «Арал». В его задачи помимо координации должно входить формирование научной программы исследований, определение приоритетных направлений и их финансирование на конкурсной основе; проведение экспертиз научных программ и результатов исследований; подготовка рекомендаций Верховному Совету СССР и правительству. Центр в дальнейшем должен стать международным, что позволит привлечь зарубежных ученых к решению аральской проблемы, а также использовать полученный опыт для предотвращения подобных ситуаций в других районах мира, особенно бассейнах крупных бессточных озер аридных зон. В настоящее время центр формируется.

В рамках Международного географического союза при участии Института географии АН СССР и ряда зарубежных научных организаций разрабатывается проект «Критические зоны мира», одним из объектов которого является Аральский регион. По проекту намечается разработать методику определения степени кризисности ситуации, оценки ущерба, адекватности осознания острых экологических ситуаций населением и руководителями. Предусмотрено и участие в ряде других международных проектов.

Можно констатировать, что под влиянием критики ученых и общественности позиция части руководителей среднеазиатских республик, ряда министерств и ведомств, в том числе меллиораторов, несколько изменилась. Если раньше ставка делалась лишь на дальнейшее развитие орошения, то ныне многие признают необходимость по крайней мере его ограничить.

В последнее время у широкого обсуждения аральской проблемы появились и негативные последствия — кризис в ряде случаев используется в политических целях, для своеобразного шантажа и выдвижения националистических требований, раздувания страстей.

<sup>5</sup> Правда. 1988. 12 сентября.



Одна из тысяч насосных установок, качающих воду из Амударьи.

Фотохроника ТАСС.

К тому же неспециалистами предлагается множество нереальных или недостаточно обоснованных решений, в основном технократического плана. Само по себе их обсуждение могло бы принести пользу, но, к сожалению, часто «изобретатели», заручившись поддержкой некомпетентных руководителей, стараются добиться их немедленной реализации.

Сегодня заметно и еще одно отрицательное явление, которое можно назвать «синдромом страха руководителей» и которое заключается в принятии (под воздействием общественного мнения) поспешных, научно необоснованных решений, выдаче непродуманных и нереальных обещаний.

И все же хотелось бы выразить уверенность, что мы уже близки к новому уровню осознания аральского кризиса, когда в результате широкого демократического обсуждения проблем, причин их возникновения и путей выхода улягутся страсти и решения будут приниматься с учетом научных выводов и рекомендаций.

## ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ

Итак, существуют два взаимосвязанных аспекта аральского кризиса — необходимость решения социальных, экономических и экологических проблем региона и необходимость сохранения моря. Как и в какой последовательности их решать?

Бесспорно, первоочередными мероприятиями должны быть те, которые в кратчайшие сроки помогут улучшить условия жизни населения. Это организация снабжения чистой питьевой водой и. самых разных источников, строительство канализационных и очистных сооружений, отказ от пестицидов, дефолиантов и других вредных химических препаратов, оптимизация применения удобрений, создание сети современных медицинских учреждений, обеспечение населения качественными продуктами, массовая и грамотная санитарно-гигиеническая и экологическая пропаганда.

Однако всех проблем этим не решить. Необходимо менять стратегию развития производительных сил региона, переходить от экстенсивных форм к сбалансированному комплексному развитию экономики. Речь идет о развертывании экономически и социально эффективных маловодоёмких про-

изводства, и в первую очередь современного текстильного и швейного; горнодобывающей и горнообрабатывающей отраслей промышленности, развитии электроники и точного машиностроения, созданию новых домостроительных комбинатов и других производств, способных обеспечить занятость населения и повысить его жизненный уровень.

Еще важнее, пожалуй, рационализация сельского хозяйства, которую условно можно свести к сокращению площадей орошаемых земель за счет вывода низкопродуктивных засоленных земель, отказу от монокультуры — хлопка, развитию производства продуктов питания — овощеводства, садоводства, виноградарства и т. д. Эффективность водных мелиораций в Аральском регионе на протяжении десятилетий упорно завывшалась. Ее оценивали по валовой продукции, не учитывая, что и до орошения здесь выращивались сельскохозяйственные культуры. К тому же, как уже отмечалось, за точку отсчета нередко брали 1950 г. с его наихудшей продуктивностью по климатическим причинам. Не учитывались и растущие расходы на удобрения и химикаты.

Необходимость роста производства хлопка была важнейшим доводом в пользу резкого увеличения орошаемых площадей. Производство хлопка в стране росло до 1980 г., после чего стало несколько снижаться и в 1989 г. составило около 9 млн т.

Но нужно ли нам столько хлопка и нельзя ли сократить его производство без ущерба для экономики в целом? Большая часть потребляемого хлопка идет на технические и военные нужды и может быть с успехом заменена техническими волокнами (в США на технические цели расходуется в 4—5 раз меньше хлопка). Качество тканей и изделий из хлопка низкое (в 1986 г. лишь в УзССР забраковано 15,4 % тканей, более 15 % швейных и трикотажных и 36 % чулочно-носочных изделий), так что, повысив его, население можно обеспечить тканями и одеждой, используя на 20—30 % меньше хлопка. Кстати сказать, в большинстве развитых стран ежегодный выпуск хлопчатобумажных тканей на душу населения в 2 раза ниже, чем в СССР.

Не оправдались и надежды на повышение валютных поступлений от экспорта хлопка и хлопчатобумажных изделий. Производя тканей в 12,8 раза больше, чем Чех-Словакия, и в 17 раз больше, чем ГДР, мы экспортируем лишь в 3—4 раза больше, чем эти страны, еще хуже соответствующие соотношения в экспорте одежды и трико-

тажа. К тому же резко упали мировые цены на хлопок.

Сохранив экспорт хлопка на уровне 650—700 тыс. т в год и ограничив внутреннюю потребность 4,5—5 млн т, можно снизить общее производство с 9 до 5—6 млн т в год. Это позволило бы освободить 1—1,3 млн га земель и экономить ежегодно на орошении по крайней мере 10—15 км<sup>3</sup> воды.

Немалые резервы связаны и с сокращением площадей под самой водоемкой культурой — рисом, на орошение которого идет 25—55 тыс. м<sup>3</sup>/га. Уменьшив их на 100 тыс. га, удалось бы сберечь еще 3 км<sup>3</sup> воды в год, причем не снижая объема производства, а внедряя новые сорта и технологии полива.

Даже если вывести из орошения только 5 % (0,5 млн га) самых непродуктивных засоленных земель, экономия воды составит 7 км<sup>3</sup>/год.

Реконструкция оросительных систем, КПД которых, по данным разных авторов, 0,55—0,67, позволила бы уменьшить фильтрацию из каналов и высвободила бы еще по крайней мере 10—20 км<sup>3</sup>/год. Снижение оросительных норм даже при используемых технологиях полива способно дать 10—20 км<sup>3</sup>/год, а при современных методах орошения и управления водным хозяйством — 20—30 км<sup>3</sup>. Осуществление же всех этих мероприятий в комплексе позволило бы высвободить 40—70 км<sup>3</sup> воды в год.

Естественно, при этом сократился бы и дренажный сток, который ныне составляет по крайней мере 46—47 км<sup>3</sup>. Но все же около 20 км<sup>3</sup> таких вод будет формироваться, по-видимому, ежегодно. Их придется очищать, частично опреснять и вновь направлять на орошение или сбрасывать после очистки и опреснения в реки (соли, содержащиеся в сточных водах, могли бы стать сырьем для химической промышленности). Альтернатива — закачка рассолов в глубокие горизонты осадочного чехла. Впрочем, и то и другое пока очень непросто.

Водосбережение в сельском хозяйстве Аральского региона зависит не только от водохозяйственных мероприятий, но и от внедрения менее водоемких сортов сельскохозяйственных растений. Чтобы сохранить плодородие почв, необходимо ввести в севооборот травы, особенно люцерну, которая, правда, требует даже больше воды, чем хлопчатник.

Сопоставим теперь резервы экономики с нуждами самого Аральского моря.

## ВОДА ДЛЯ АРАЛА?

Конкретные размеры моря должны определяться, исходя из реальных возможностей. Для стабилизации нынешнего уровня необходимо, по самым грубым подсчетам, чтобы в водоем поступало  $35 \text{ км}^3/\text{год}$  — таков современный расход воды, главная статья которого — испарение. Где же взять воду для пополнения Арала? Лучшим выходом для моря было бы возвращение стока питавших его рек, но это, видимо, дело не близкого будущего.

Существуют проекты, которые, казалось бы, могли дать воду Аралу быстрее. Предлагается, например, протянуть каналы, по которым в Арал с низовьев Амударьи и Сырдарьи будет ежегодно поступать  $8\text{—}10 \text{ км}^3$  дренажных вод<sup>6</sup>. В 1989 г. начато строительство правобережного коллектора протяженностью 1500 км — от орошаемых массивов в среднем течении Амударьи к Аральскому морю. Но экологически эти мероприятия не обоснованы.

Сброс загрязненных пестицидами и биогенными элементами высокоминерализованных дренажных вод может дать лишь временный положительный эффект, увлажнив часть осушенного дна. При этом в море поступит вместе с «химией» ежегодно  $50\text{—}100$  млн т солей, судьба которых неизвестна. Вдобавок у канала будут огромные фильтрационные потери, о чем наверняка подтопит прибрежные территории.

Нельзя не вспомнить и другие забытые и не совсем забытые проекты «спасения» Арала. Среди них самый, пожалуй, известный — переброска части стока сибирских рек в Среднюю Азию и Казахстан по каналу Сибарал. Стоимость переброски  $27,2 \text{ км}^3$  воды в год из Оби (это самый скромный вариант, ранее водозабор предполагался гораздо большим) составила бы, по явно заниженным оценкам, 13,8 млрд руб., а по оценкам ряда специалистов, до 100 млрд руб. Свыше 10 лет доказывалась эффективность этого проекта, его польза для Средней Азии и безвредность для Сибири. Однако оценки воздействия переброски на природу Сибири показали, что сократятся пойма Оби и продолжительность ее затопления, уменьшатся рыбные запасы в реке, изменится температура воды и воздуха, ухудшится ледовая обстановка в Обской губе и Карском море. Существующие прогнозы фильтрационных потерь из канала, притока в него

грунтовых и подземных вод, солеобмена с окружающей территорией, минерализации вод в замыкающих створах канала недостаточно достоверны.

Думается, что основной недостаток проекта все же в том, что он еще раз предопределяет экстенсивное сельскохозяйственное развитие региона. А при новом расширении орошаемых земель самому Аралу воды опять не достанется, зато вновь возникнет вопрос о том, что делать с дренажным стоком. Возникнет очередной замкнутый круг проблем.

Переброска воды из Оби — не единственная идея перераспределения стока. Существуют проекты подачи в Арал  $0,5 \text{ км}^3$  воды по каналу Иртыш—Караганда (после его реконструкции) и гораздо более масштабных перебросок:  $60 \text{ км}^3$  из Каспийского моря по древнему руслу Узоя и  $20 \text{ км}^3$  из Волги (через Северный Каспий и плато Устюрт) по двум вариантам<sup>7</sup>. В первом предполагается, что дамба от дельты Волги до п-ова Мангышлак позволит расширить северо-восточную часть Каспия, распресненные воды которой поступят в Трансустьуртский канал. Во втором — волжская вода должна пойти по железобетонному каналу, под которым построят тоннели для пропуска морских вод. Нет смысла подробно останавливаться на критике подобных проектов, которые неминуемо изменят бы режим самого Каспия. Их нельзя считать обоснованными прежде всего потому, что не доказана безвредность отбора воды из Каспия (причина повышения его уровня и дальнейшее «поведение» пока не совсем ясны).

Крайне сомнительна не только целесообразность, но и возможность строительства каналов через Устюрт, сложенный легкоразрушающимися карбонатными породами и гипсами. Кроме того, содержание стронция в почвах и породах плато во многих местах превышает 1 %.

Среди прочих проектов «спасения» Арала Госкомгидрометом СССР предлагается увеличить количество осадков в предгорных и горных районах Средней Азии, вводя в облака иодистое серебро, что позволило бы ежегодно получать от 6 до  $25 \text{ км}^3$  воды дополнительно. Экологическая проработанность этого мероприятия вызывает большое сомнение. Не лучше в этом аспекте и предложение Н. Н. Степанова увеличить влагоперенос с севера, построив на Оби и Енисее крупные водохранилища общей пло-

<sup>6</sup> Духовный В. А., Разаков Р. М., Руднев И. Б. и др. // Пробл. освоения пустынь. 1984. № 6. С. 3—15.

<sup>7</sup> Степанов Н. Н. // Вест. Каракалпакского фил. АН УзССР. 1990. № 1. С. 3—17.

щадью около 70 тыс. км<sup>2</sup>, где речные воды должны были прогреваться, делая Карское море теплее. В результате испарение с его поверхности усилится, влага перенесется в Среднюю Азию и водность тамошних рек возрастет на 15—75 км<sup>3</sup> (в зависимости от влияния парникового эффекта). К сожалению, величина этого гипотетического увеличения влагопереноса ниже точности определения как общего влагопереноса, так и объема выпадающих осадков. А главное, такие водохранилища займут гигантские территории, изменят их продуктивность, заставят переселять все живое, в том числе и людей. Предлагалось получать дополнительную воду и за счет интенсификации таяния ледников Средней Азии, что тоже вряд ли безвредно и для ледников, и для населения.

Дополнительную влагу могут дать подземные источники. По подсчетам И. С. Зекцера, к 2005 г. отбор подземных вод можно довести до 25—30 км<sup>3</sup>, треть из которых не связана с речным стоком и действительно является дополнительным источником. Но и здесь есть свои экологические проблемы: в скважинах отбор воды часто не регулируется, и она теряется, заболочивая и засоляя территорию.

Таким образом, учитывая недоработанность всех планов, приходится констатировать, что в ближайшие годы вряд ли удастся «удержать» уровень Арала на его сегодняшних отметках.

Имеется, правда, еще один путь снижения расхода воды из водоема — уменьшить испарение с его поверхности. Сделать это можно, расчленив Арал на несколько частей и управляя их режимом. Имеется несколько вариантов такого деления. Один из них — превращение в проточный водоем с регулируемой соленостью Малого Арала и западной части Большого Арала (восточная часть Большого Арала стала бы при этом основным солеприемником). В другом варианте, проточный водоем располагается в восточной части Большого Арала. Имеются и более «мелкие» планы: создание регулируемого водоема в зал. Сарышиганак, в восточной части Малого моря, каскада из двух водоемов в Малом море и т. д.

Привлекательная сторона этих проектов в том, что в условиях малого стока в Арал они дают надежду восстановить хотя бы отдельные его части и хоть как-то возродить рыболовство, создать рекреационные зоны, занять население. Вместе с тем пока нет моделей, которые показали бы возможные сочетания водного и солевого баланса различных частей Арала в зависимости от объема речного стока и введения в строй

необходимых гидротехнических сооружений, прогноза качества воды. Не ясно, что станет с теми районами, которым уготована участь солеприемников, как трансформируются прибрежные ландшафты. Есть и другие непростые вопросы.

Весьма проблематичным кажется и проект создания мелководного водоема на осушенном дне южного Арала, предложенный В. А. Духовным с коллегами. Для этого предлагается соорудить два ряда дамбы, задерживающих санитарные попуски по Амударье, а также дренажные воды. Строительство плотин длиной 500 км для сбора грязной воды может не улучшить, а ухудшить санитарно-эпидемиологическое состояние Приаралья.

Если расставлять приоритеты в поиске путей выхода из аральского кризиса, на первое место я поставил бы все же изменение общей стратегии развития производительных сил региона. Только радикальные перемены в хозяйствовании дадут Аралу воду. Даже на первом этапе осуществления самых неотложных мероприятий понадобятся значительные средства (и не только государственные капиталовложения). Поэтому целесообразно было бы создать Фонд (или фонды) спасения Аральского региона с участием международных и национальных государственных и общественных организаций, частных компаний и отдельных лиц.

Предпосылки для этого есть. Аральский кризис привлекает внимание многих людей не только в нашей стране, но и за рубежом. Вслед за прошедшей в июле 1990 г. в Университете штата Индиана (США) специальной международной конференцией, посвященной этой проблеме, подобное совещание должно состояться в Лондоне осенью этого года. Комитет по спасению Арала создан в Нью-Йорке. Поступает много предложений о помощи от различных международных организаций и частных лиц. Важно лишь правильно использовать эту помощь, четко определив конкретные задачи, которые необходимо решать, и имея твердую уверенность, что собранные средства пойдут на то, для чего предназначены.

Вместе с тем, завершая статью, хотелось бы подчеркнуть, что решение аральской проблемы (как и других наших проблем) зависит в первую очередь от нас самих, от осознания ситуации, от радикальности и последовательности действий, направленных на ее улучшение.

Материал подготовила М. Ю. Зубрева.



# ОТРЫВКИ ИЗ ВОСПОМИНАНИЙ

С. Э. Фриш

**К** АЖДЫЙ период времени имеет свою окраску. Свою окраску имели и эти годы расцвета нэпа — 1925—1928.

Гражданская война, тяжелая хозяйственная разруха остались позади. Складывались культурные и бытовые отношения, принимавшие своеобразный, пестрый характер. С одной стороны, были люди, стремившиеся создать нечто совсем новое, полностью порвать с наследием старого мира. С другой — интеллигенты, примкнувшие к революции, хотели удержать все то, что имеет непроходящую ценность. А такого, им казалось, от прежнего мира осталось немало. И на полках книжных магазинов стояли рядом стихи Маяковского и томики полного собрания сочинений Блока, только что изданного в Берлине по заказу Советского правительства. В журналах и брошюрах поносились гнилое интеллигентское эстетство, а у букинистов охотно раскупались сборники стихов Ахматовой и Гумилева. Воскресали многие из эстетических увлечений предвоенных лет. В постановке Вахтангова шла пьеса Гоцци «Принцесса Турандот», и на сюжет того же Гоцци в бывшем Мариинском театре в Ленинграде была поставлена опера Прокофьева «Любовь к трем апельсинам». Большим успехом пользовался балет Стравинского «Петрушка» с декорациями Бенуа, с танцами Фокина.

Значительную роль начали играть веяния, приносимые из Германии. Лица, ездившие в Германию по командировкам, по возвращении с увлечением рассказывали о виденном. В Германии тоже произошла революция, и хотя в ней сохранился капиталистический строй, многие ценности были переоценены. Новая немецкая интеллигенция пыталась создать культуру, освобожденную от гнета мещанства, столь сильного при кайзере. И эту культуру многие у нас считали передовой, заслуживающей подражания. Появились переводы немецких книг, в кино шли многочисленные немецкие фильмы, в филармонии выступали приезжающие на гастроль немецкие дирижеры и пианисты.

Проникали и идеи послереволюционной немецкой философии. Большой интерес возбудила книга Шпенглера «Закат Европы». После ряда лет, когда история излагалась с позиций схематизированного и упрощенного исторического материализма, казалось заманчивым поговорить о том, что каждая исторически возникшая культура имеет свою душу, что смена культур происходит не в результате изменившихся производственных отношений, а потому, что, достигнув расцвета, они стареют и умирают, как люди.

Дмитрий Сергеевич [Рождественский] надеялся, что у нас — в новом социалистическом обществе — можно будет быстро и правильно решить вопрос о соотношении между наукой и техникой. (...) Поэтому, организуя Оптический институт, он считал необходимым, чтобы в нем бок о бок существовали научные отделы и отделы, занимающиеся техническими проблемами.

Первая задача Оптического института заключалась в пуске в ход Завода оптического стекла. При пуске завода встретились многочисленные, иногда неожиданные, технические трудности. Как избежать растворения стенок горшка в горячей массе расплавленного стекла? Как избежать в затвердевшем стекле «мошки» — мелких пузырьков воздуха, которые делают стекло непригодным для изготовления линз и призм оптических приборов? Сотрудники института, включая самого Дмитрия Сергеевича, ехали на завод, проводили иногда там ночи, пытаясь справиться с неполадками. Работа была организована широко и завершилась успехом, завод начал работать регулярно и полностью обеспечивать стеклом нашу возникающую оптическую промышленность.

Этот успех имел и обратную сторону. Не только Завод оптического стекла, но и другие заводы ВООМПа — Всесоюзного объединения оптико-механической промышленности — стали требовать, чтобы ГОИ принимал непосредственное участие в решении их повседневных трудностей, помогал созда-

\* Продолжение. Начало см. в № 10. Полностью «Воспоминания» С. Э. Фриша выйдут в Политиздате в 1991 г.



Д. С. Рождественский.

вать технологию производства. Напрасно Дмитрий Сергеевич пытался доказать, что решение текущих технологических задач — дело самих заводов; дело же Оптического института заниматься проблемами более «дальнего прицела». Не помогали и удачные примеры, которые, казалось, должны были убедить в правоте Дмитрия Сергеевича и наиболее узких практиков. Так, например, Гребенщиков, в результате упорных лабораторных исследований, создал новую химическую теорию обработки стекла и металлов, позволившую создать производственные методы, ускоряющие шлифовку и полировку во много раз. Дмитрий Сергеевич считал, что решение именно таких задач есть дело ученых, так как, по его словам, инженер-механик до этого никак не додумается, здесь нужны ассоциации мыслей, которые бывают только у ученого, у физика или химика. Нечего отрывать ученых на решение более простых задач, с которыми могут справиться и сами техники. Но эти точки зрения не находили понимания. Заводы требовали непо-

средственной, постоянной, мелочной помощи, и когда они ее не получали, возникали конфликты.

Требование приблизить ГОИ к производству, искоренить попытки «старых спецов» заниматься «чистой наукой» стали раздаваться все чаще и все настойчивее. Очень активно проявляла себя в этом отношении комсомольская молодежь, игравшая тогда в жизни каждого учреждения, в том числе и ГОИ, большую роль. Помню, в институте среди аспирантов был молодой комсомолец Александр Новиков. Человек живой и активный, он отличался вместе с тем в своих суждениях и действиях чрезвычайной схематичностью. Позже он был обвинен в троцкизме, арестован, и о его дальнейшей судьбе я ничего не знаю. Но в то время, о котором я пишу, он пользовался среди своих товарищей большим авторитетом и они охотно его поддерживали. Их требования, касавшиеся научной тематики, носили по большей части весьма примитивный характер. Однажды, при обсуждении плана работ научного отдела, аспирантская молодежь выдвинула вопрос, почему мы, сотрудники этого отдела, занимаясь спектроскопическими исследованиями, выбираем в качестве объектов изучения натрий, ртуть и другие сравнительно редкие элементы, а не берем, скажем, медь или железо. Попытки растолковать, что в данном случае объект исследования выбирается не по признаку его практической полезности, а по тому, насколько просто и быстро он позволяет получить ответ на вопросы, которые в конечном счете будут иметь практическое значение, — не приводили к цели. Новиков и его последователи слушали нас с недоверием и были убеждены, что мы — выходцы из буржуазных слоев — хотим их обмануть, чтобы за государственный счет заниматься излюбленной нами никчемной «чистой наукой».

Запомнился мне еще следующий эпизод. Дмитрий Сергеевич попытался наладить работу общепитовского семинара, на котором в равной степени освещались бы научные и технические новости. На первом из этих семинаров он предложил мне выступить с научным докладом. Я рассказал о последнем крупном открытии того времени — об открытии нейтронов. Это мое выступление потом обсуждалось не только среди молодежи, но и в парткоме и было квалифицировано как попытка отвлечь внимание научных сотрудников ГОИ от стоящих перед ними важных практических задач рассказами об открытии буржуазных физиков, развлекающихся нахождением никому не нужных частиц. Повторилась старая история,

в которой на место английского министра и престарелого инженера царской России попали коммунисты Оптического института: через пятнадцать лет с помощью нейтронов была впервые в мире воспроизведена цепная ядерная реакция, ознаменовавшая собой новый этап в научном, техническом и даже, как оказалось, политическом развитии человечества. (...)

Однако, возвращаясь к тому времени, о котором я сейчас пишу, приходится с сожалением вспомнить, что неполадки в планировании научной работы и в организации ее связи с практикой привели к тому, что в марте 1932 года Дмитрий Сергеевич Рождественский ушел из директоров Оптического института. Свой уход он мотивировал желанием освободиться от административных обязанностей и полнее посвятить себя научной работе. Его отставка была принята. Дмитрий Сергеевич сохранил за собой руководство лишь одной из научных лабораторий ГОИ. Из университета он ушел еще несколько раньше.

Дмитрий Сергеевич, уходя с должности директора института, решил рекомендовать в качестве своего преемника Сергея Ивановича Э. Фриш.

Вавилова. Вавилов до того никогда не работал в ГОИ — он был московским физиком. Дмитрий Сергеевич полагал, что привлечение постороннего человека позволит легче изжить недоразумения, приведшие к его отставке. Однако руководители ВООМПа добились, что рекомендация Дмитрия Сергеевича была принята лишь наполовину: Вавилова назначили заместителем директора по научной части, директором же — одного из работников самого ВООМПа. Этот директор, фамилии его я не помню, продержался очень недолго, потом его сменило другое лицо, потом третье, пока не оказался назначен Леопольд Аркадьевич Ольберт.

Ольберт был одним из тех «ответственных работников», присылаемых из Москвы, которым в годы первых пятилеток поручалось руководство различными учреждениями.

Ольберт сумел продержаться в Оптическом институте лет пять или шесть. Небольшого роста, кругленький и вместе с тем подвижный, он отличался живостью характера и большой самонадеянностью. Раньше он, по-видимому, был связан с правым уклоном, но теперь, когда выяснилось, что власть твердо находится в руках Сталина, он не упускал случая выразить свою приверженность генеральной линии партии. Какое он имел образование, я не знаю; говорил он



с сильным еврейским акцентом, со словечками, бывшими в свое время в ходу у одесситов. Технические познания его отличались чрезвычайной скудностью. Но человеком он был неглупым, умеющим быстро схватывать обстановку и избегать слишком острых ситуаций. В этих условиях роль Вавилова, как заместителя директора, могла быть значительной. К сожалению, это оказалось не так.

Сергей Иванович Вавилов был кореным москвичом: он родился и вырос в Москве. В Москве же он поступил в университет. Человек очень активный, он с первого года обучения начал работать в лаборатории Лебедева. Петр Николаевич Лебедев в то время уже серьезно болел сердцем, и руководство студенческими работами осуществлял его помощник Петр Петрович Лазарев. Под руководством Лазарева Вавилов начал свое первое научное исследование по выцветанию красителей.

В 1911 году, когда Лебедев вместе с рядом других профессоров покинул университет в знак протеста против реакционной политики Кассо, Вавилов был студентом 3-го курса. Он перенес свою научную работу в ставший знаменитым подвал в Мертвом переулке, куда перебрался Лебедев. Но университет он не бросил и закончил его в 1914 году. Дело было за несколько месяцев до начала первой мировой войны, и Вавилов попал вольноопределяющимся в армию. В течение всей войны он пробыв в саперных и радиотехнических частях. При этом он настолько вошел в круг вопросов тогдашней радиотехники, что, будучи на фронте, сделал научную работу «Частота колебаний нагруженной антенны».

В 1918 году Сергей Иванович, демобилизовавшись, устроился на работу в только что тогда организованный Лазаревым в Москве Институт физики и биофизики. С 1919 года он начал преподавать в Московском университете.

Научная работа Вавилова относилась к области люминесценции растворов. Обладая способностью быстро схватывать новое, Сергей Иванович сумел подметить и сформулировать ряд закономерностей, вытекавших из новых тогда квантовых представлений об испускании и поглощении света. Его работы приобрели известность, и в 1931 году он был избран членом-корреспондентом, а годом позже — действительным членом Академии наук. Таким образом, научным руководителем Оптического института стал молодой, быстро делающий карьеру академик.

Сергей Иванович был довольно высок ростом, худощав. Волосы расчесывал на прямой пробор, придававший ему несколько фатоватый вид. Улыбаясь, он имел манеру кривить рот, отчего его лицо приобретало неожиданную несимметрию. Говорил он не слишком складно, с запинкой, но писал очень гладко, можно даже сказать, блестяще. Его научно-популярные книги, такие как «Глаз и Солнце» и «Ньютон», пользовались у читателей большим успехом и разошлись многими изданиями. Публичные же выступления его, несмотря на то, что он всегда тщательно к ним готовился, выглядели гораздо скучнее и шаблоннее. В них не чувствовалось ни того задора, ни той самобытности, которые были так свойственны Дмитрию Сергеевичу.

С первых же дней работы в Оптическом институте Сергей Иванович проявил себя «дипломатом», любящим «сглаживать углы». Он поддерживал, по крайней мере внешне, установившиеся порядки и не торопился с изложением своих собственных точек зрения. Мы — ученики Дмитрия Сергеевича — привыкли к тому, что Дмитрий Сергеевич всегда прямо высказывался по всем вопросам, не боясь, если нужно, резкости. И манеры Вавилова, который старался находить «приемлемые» формулировки, не могли нам нравиться.

В то время еще нередко случалось, что люди, вышедшие из старой интеллигенции, по-разному говорили в кругу «своих» и в кругу более широком, особенно в присутствии партийных. Дмитрий Сергеевич никогда так не поступал. Он вполне искренно хотел «строить социализм, засучив рукава» и одинаково выражал свои мнения, независимо от того, с кем вел речь. Он мог среди своих старых приятелей-ученых опасаться, что темпы развития промышленности взятые слишком высокими, и точно так же, ухватив за пуговицу кого-либо из ответственных партийных работников, мог сказать:

— Батенька мой, все это отлично, но нельзя же так торопиться. На что вы, партийный человек, смотрите? Так дело не пойдет.

Вавилов же, державшийся обычно скептически среди «своих», был вместе с тем очень осторожен в высказываниях в присутствии посторонних.

Тридцатые годы были годами, когда начал впервые проявляться культ личности. И люди разделились на две группы — группу, которая во всех своих выступлениях начала «восхвалять», и группу, пытавшуюся как-то сохранить чувство собственного достоинства. Дмитрий Сергеевич не позволял себе трафаретного восхваления. Если в его публичных выступлениях иногда бывал пафос, то этот

пафос вполне отвечал его действительным чувствам. Вавилов же считал, что хвалебными словами дела не испортишь. И эта явная дань времени действовала на многих из нас, привыкших к прямоте Дмитрия Сергеевича, неприятно.

Кроме того, Сергей Иванович много совместительствовал. Работая в ГОИ в Ленинграде, он одновременно состоял директором Физического института имени Лебедева в Москве. Сотрудники ГОИ, посмеиваясь, спрашивали: «Какова средняя координата Сергея Ивановича?» Ответ гласил: «Бологое!»

Однако указание одних отрицательных черт в характере и действиях Сергея Ивановича повело бы к неправильному представлению о нем. Он был человеком живым, инициативным, с чрезвычайно большой работоспособностью. Ни одного дела он не откладывал, но решал его сразу, без всяких проволочек. Приходилось удивляться, как он успевает одновременно администрировать в двух учреждениях и принимать непосредственное участие в научной работе. В ГОИ он создал новую лабораторию люминесценции, которой активно руководил. К своим ученикам он относился хорошо и внимательно, и они ценили и любили его.

Еще одним новым лицом, появившимся тогда в Оптическом институте, был Торичан Павлович Кравец. Биография Торичана Павловича дает пример того, как установившееся мнение о значимости ученого может не соответствовать его действительным научным заслугам. Я вовсе не хочу этим сказать, что Торичан Павлович сам приписывал себе несуществующие заслуги или вообще какими-либо окольными путями добивался известности. Напротив, он был порядочным, хорошим человеком, всегда готовым признать успехи своих учеников и товарищей по работе. Но были у него такие свойства — умение со всеми поддерживать хорошие отношения, вести остроумные и занятные разговоры, — что люди, знавшие его, начинали сами приписывать ему научные достижения, которых при строгом разборе у него не оказывалось.

Торичан Павлович был избран членом-корреспондентом Академии наук, во всякого рода юбилейных изданиях его именовали «одним из известнейших советских физиков», в действительности же он не был сколько-нибудь крупным ученым. Мне не раз приходилось присутствовать на научных докладах Торичана Павловича, где он допускал явные ошибки. Ошибки замечали, конечно, и другие, но все как-то «сходило» Торичану Павло-

вичу, хотя ученые, как известно, редко снисходительны к ошибкам своих коллег.

Я пишу это не для того, чтобы дискредитировать память о Торичане Павловиче Кравце, а потому, что в моих воспоминаниях мне хочется каждого человека, которого я знал, описать таким, каким он мне представляется.

Торичан Павлович, как и Вавилов, был «дипломатом», но «дипломатом» совсем другого рода. Он отличался большим тактом, и его дипломатические миссии незаметно для окружающих в большинстве случаев приводили к улаживанию конфликтов. Дмитрий Сергеевич, у которого, по сути дела, установились достаточно холодные отношения с Вавиловым, очень ценил Торичана Павловича и его умение сглаживать неприятности. Торичан Павлович, как москвич, хорошо знал Вавилова. Вместе с тем он с большой симпатией относился к Дмитрию Сергеевичу, и у них завязались дружеские отношения. Во многих трудных ситуациях Торичан Павлович оказался отличным советчиком и помощником Дмитрия Сергеевича.

Все чаще приходилось слышать о трагических судьбах ученых, прямо или косвенно пострадавших от фашизма. Самым ужасным из этих известий было известие о самоубийстве Эренфеста. Оно поразило всех, хотя, быть может, по отношению к Эренфесту такой конец не был чрезмерно неожидан: все знали, что ему были свойственны периоды депрессии. Однако подробности развернувшейся трагедии оказались так ужасны, что невольно вызывали у всех чрезвычайно тягостное чувство.

На Эренфеста производили очень тяжелое впечатление известия о преследовании евреев в Германии. Особенно тяжело ему было узнавать, что антисемитских настроений не избежали и многие из крупных ученых, которых он хорошо знал и в хорошее чувство которых к себе верил. Хотя в Германии он бывал только наездами, все же с немецкими физиками его связывали более тесные узы, чем с физиками какой-либо другой страны. Он любил немецкую культуру, немецкую науку и верил в их прогрессивный характер. Узнать, что Германия обрела своего вождя в лице полоумного ефрейтора, которых он нестерпимо тяжело. Еще тяжелее было ему видеть, что и его голландские коллеги не все осуждали то, что произошло в Германии.

Возможно, к этим мотивам примешивались и другие, более личного характера,

связанные с его постоянной неудовлетворенностью своей работой и тем местом, которое он занимал в физике. По-видимому, идея о самоубийстве, давно маячившая перед ним, теперь только окончательно созрела. «Он постоянно страдал, — писал впоследствии в своих воспоминаниях Эйнштейн, — от того, что у него способности критиковать опережали способности конструктивные. Критическое чувство обкрадывало, если можно так выразиться, любовь к творению собственного ума, раньше, чем оно рождалось». Конец был необычайно трагичен. Не желая обременять семью заботой о психически ненормальном сыне, Эренфест отправился в больницу, где тот содержался, и потребовал свидания. Когда сына вывели, он вынул револьвер, бывший у него в кармане, и двумя выстрелами покончил с несчастным идиотом-подростком и с собой.

Так кончилась жизнь этого очень яркого и своеобразного человека, оставившего глубокий след в памяти всех, кто его знал и с ним встречался.

1 декабря 1934 года в Смольном выстрелом из револьвера был убит Киров. Мотивы этого политического убийства для широкой публики казались совершенно непонятными. (...)

Начались многочисленные аресты, преимущественно среди интеллигенции. Публика была ошеломлена: арестовывали людей, с политикой не связанных, во многих случаях старых, проживавших в качестве иждивенцев. За что их арестовывали? В чем обвиняли? Потом выяснилось, что никаких обвинений им не предъявлялось. Аресты, по-видимому, велись по спискам, заранее составленным на основании довольно случайных признаков. Например, арестовывали поголовно всех мужчин, бывших в 1917 году в юнкерских училищах, арестовывали людей, которых можно было заподозрить в принадлежности к аристократии царских времен; людей, имевших родственников за границей или знакомых среди иностранцев. Из одной и той же семьи арестовывали одних и оставляли других. Так, арестовали сестру Всеволода Константиновича Фредерикса — немолодую, больную женщину, в то время как его самого не тронули и он продолжал работать в университете и в Физико-техническом институте.

Арестованных задерживали недолго — три-четыре дня; допрашивали. Некоторых отпускали, другим предписывали в трехдневный срок покинуть Ленинград. Выселяли

преимущественно в Поволжье и в Среднюю Азию. Из сотрудников университета и Оптического института многие прошли через эту «сеялку». Были арестованы Прокофьев, Фок, Слюсарев, Созонов, Гросс и ряд других лиц. Прокофьева, Фока, Слюсарева сразу отпустили. Гросса выслали в Саратов вместе со всей семьей. Выслали в Ташкент одного из моих ближайших сотрудников по Оптическому институту — Николая Викентьевича Кременевского.

Эта полоса арестов оборвалась так же внезапно, как и началась, оборвалась в определенный день. Если человек, которого пытались арестовать, не был найден, то теперь его больше никто не трогал.

Сколько людей было выслано, сказать трудно. Во всяком случае дело шло о многих тысячах. Вместе с тем об этих арестах официально ничего не сообщалось. Лишь после того, как они окончились, в «Ленинградской правде» появилось несколько строк, набранных мелким шрифтом, в которых говорилось, что из Ленинграда выслан ряд «бывших» — царских офицеров, баронов и князей.

Жизнь была полна контрастов. С одной стороны, широкий размах строительства, возможность проявить инициативу, с другой — усиление бюрократизма, казенщины, всего того, что впоследствии получило название культа личности. Эпитет «великий» начал неизменно повторяться при каждом упоминании имени Сталина. Сталин превратился в вождя — Вождя — с большой буквы, а все его окружающие — лишь в его верных соратников и учеников. Говорят, Бухарину принадлежала фраза: «Сталин строит свое государство на чиновниках с улыбкой на устах: что прикажете-с!» Деление людей по рангам, как и должно быть в чиновничьем государстве, проявлялось все больше и больше. Особенно сильно эти недостатки сказались в провинции, где появились свои местные «великие» — проводники идей великого Сталина. Я очень ясно увидел это во время поездки весной 1935 года в Днепропетровск.

В Днепропетровске проходила физико-химическая конференция, на которую съехалось много участников. Я поехал на нее, чтобы познакомиться с работами Александра Ильича Бродского по получению тяжелой воды. Эти работы интересовали меня, так как незадолго до этого я предпринял в Оптическом институте вместе с моим сотрудником Черняевым спектроскопическое исследование тяжелого водорода.

В Днепропетровске явно почувствова-

лось, что деление людей по чинам и званиям дошло и до круга ученых. Раньше этого не было. Я помню, как на первых конференциях, проходивших после революции, мы, лаборанты ГОИ, тогда еще совсем мальчишки, чувствовали себя вполне на одном уровне с остальными. Если были различия, то они возникали совершенно естественно, в силу того уважения, которым пользовались люди более старые и более известные в науке. В Днепропетровске же, хотя я был уже профессором, я оказался далеко не в привилегированном положении. Все время подчеркивалась необходимость соблюдать иерархию, уступать место лицам, стоявшим чином выше, — «заслуженным», академикам и т. д.

Отрицательная сторона культа личности прежде всего проявилась в подхалимстве. В Днепропетровске особенно неприятное впечатление произвело торжественное общее собрание, на котором выступил секретарь обкома партии Хатаевич. Хатаевич был одним из видных участников гражданской войны на Юге, затем ответственным работником различных партийных организаций. Это был еврей, небольшого роста, широкоплечий, с очень грубыми чертами лица. Он вышел на трибуну в украинской вышитой рубашке под пиджаком, в высоких сапогах. Местное начальство, рангом пониже, окружало его с подобострастием и угодническим видом. Все, встав, начали аплодировать. Кто-то крикнул: «Наш великий Хатаевич! Ура!» Сцена выглядела совершенно карикатурно.

Дело, конечно, не в Хатаевиче. Отдельные скверные люди всегда найдутся. Через год или два я прочел в газете, что его расстреляли. Но в этой сцене проявилось самое страшное — то, что находится сколько угодно людей, готовых пресмыкаться перед тем, кто взял в руки власть.

Массовые аресты, захватившие самые различные слои населения, начались в конце 1936 года и продолжались почти два года. Арестовывали членов правительства, партийных работников, военных, ученых, писателей, инженеров, администраторов. За каждым арестованным тянулся целый «хвост» его помощников, сослуживцев и членов семей. В Москве, Ленинграде, во всех областных и районных центрах днями и ночами велась работа в управлениях ОГПУ, казалось, с единственной целью — вновь и вновь придумывать дела, подготовить аресты ни в чем не повинных людей. (<...>)

Страх перед арестами накладывал

страшный отпечаток на все отношения между людьми. Каждый боялся быть искренним даже в кругу хорошо знакомых лиц, невольно подозревая во всех окружающих доносчиков.

Ко мне однажды пришел мой сотрудник Всеволод Иванович Черняев. Он сказал:

— Знаете, вчера меня вызвали в ГПУ и продержали там до позднего вечера. Меня расспрашивали, что я знаю о сотрудниках Оптического института и университета. В частности, речь шла и о вас. Интересовались вашими поездками за границу.

Затем он прибавил:

— С меня, конечно, взяли расписку, что я никому не скажу о содержании допроса. Но я решил все же предупредить вас...

Предупредить... — но что я мог сделать? Удивительная нелепость тогдашних подозрений заключалась в их полной необоснованности. Это было, пожалуй, самое страшное: что-либо предпринять было невозможно. Каждый чувствовал себя, как солдат, бегущий под обстрелом по открытому полю — одного пуля заденет, мимо другого пролетит. Все — дело чистого случая.

Я пережил несколько очень неприятных дней. Но чувство непосредственной угрозы постепенно миновало, скверное же чувство настороженности по отношению к Всеволоду Ивановичу осталось.

Всеволод Иванович был моим ближайшим сотрудником, человеком, с которым меня связывали не только деловые, но и дружеские отношения. Я привык вести с ним непринужденные и искренние разговоры. Но после его признания отделиться от ощущения, что каждое произнесенное при нем слово может попасть в протокол следователя, я не мог. Чувство оказывалось сильнее доводов разума. Это было в высшей степени неприятно.

Всеволод Иванович очень тяготился своей ролью невольного осведомителя. Вызовы ГПУ время от времени повторялись. Чтобы их избежать, он попытался воспользоваться своими связями с Федоровым.

Евгений Константинович Федоров, участник знаменитой папанинской экспедиции на Северный полюс, окончил наш университет и числился потом у нас на факультете аспирантом. С Черняевым они были близкими приятелями. Когда Федоров вернулся из экспедиции и его имя непрерывно мелькало в газетах и повторялось по радио, Всеволод Иванович решил использовать это выгодное знакомство. Он обратился к Федорову с просьбой как-нибудь помочь. Евгений Константинович ответил, что единственное, что он может сделать, — это предоставить место зимовщика на одной из отдаленных



полярных станций. Там Всеволода Ивановича никто тревожить не будет. К тому же времени, когда он вернется — через год или полтора, — о нем успеют забыть. Черняев согласился. Но дальше произошло следующее: отправленное им научное оборудование непонятным образом задержалось где-то в пути на железной дороге. В течение двух недель все его розыски оказывались напрасными. Наконец вагон с оборудованием нашелся в тупике какой-то маленькой железнодорожной станции. В Архангельск он прибыл с опозданием, когда последний пароход ушел в арктический рейс. Помощь Федорова не сыграла своей роли, Всеволоду Ивановичу пришлось вернуться в Ленинград.

Когда в 1932 году Дмитрий Сергеевич ушел из директоров ГОИ, на первый взгляд могло показаться, что он решил всецело отдаться личной научной работе и полностью оставить организационную деятельность. Он начал много заниматься микроскопией, причем не только в лаборатории, но и у себя дома. Каждый год он уезжал на три-четыре месяца на дачу под Лугу, где продолжал работать в очень спокойной и замкнутой обстановке. В ГОИ, посмеиваясь, говорили: «Кому на Руси жить хорошо? — Дмитрию Сергеевичу!»

Я часто заходил к Дмитрию Сергеевичу на его квартиру, которая помещалась в жилом флигеле института. Дмитрий Сергеевич и его жена Ольга Антоновна встречали меня радушно. Они составляли очень своеобразную пару.

Ольга Антоновна — сестра университетского товарища Дмитрия Сергеевича Александра Антоновича Добиаша — была во многих отношениях женщиной выдающейся. Небольшого роста, худая, с некрасивым лицом, она тем не менее чем-то привлекала к себе внимание. По психологическому облику, складу мышления, интересам она, казалось, представляла собой полную противоположность Дмитрию Сергеевичу. Впоследствии Торичан Павлович Кравец сказал: «Дмитрий Сергеевич был рационалистом, Ольга Антоновна — идеалистом». Эти два слова «рационалист» и «идеалист», употребленные в их прежнем, ныне устаревшем смысле, очень хорошо характеризуют и Дмитрия Сергеевича и Ольгу Антоновну. У Дмитрия Сергеевича, несмотря на то, что он отличался и темпераментом и даже способностью увлекаться, в основе всей деятельности лежали рассуждения, расчет, логиче-

ская схема. Его работа всегда направлялась к конкретной цели, замкнута в кругу абстрактных идей он не мог. Ольга Антоновна, палеограф по специальности, жила в области отвлеченных интересов далекого средневекового прошлого, которое ей казалось полным мистическим очарованием. Главная тема ее научных исследований — она считалась очень крупным специалистом по средневековым латинским рукописям — относилась к религиозной истории Франции XIII века. «Культе святого Михаила», «Свете лампы во французских сказаниях» — таковы темы ее научных публикаций. Она много жила и работала во Франции, наверное, хорошо чувствовала и понимала средневековье. Ее работы пользовались известностью среди французских историков. От всего настоящего она казалась очень далекой, в то время как Дмитрий Сергеевич полностью окупился в современность. И все же они как-то умудрялись быть духовно близкими, интересоваться делами друг друга и друг другу помогать.

Карл Карлович Баумгарт, хорошо знавший их семью, рассказывал следующую историю. В начале 30-х годов Ольга Антоновна окончила большую работу по рукописям корбийского письма, хранящимся в ленинградской Публичной библиотеке. Корбийская школа считается одной из наиболее интересных школ латинского письма средневековья. Ее образцы из Публичной библиотеки относятся к числу наиболее значительных. Работа печаталась в Издательстве Академии наук, но по тогдашнему состоянию полиграфической базы оказалось невозможным дать хорошие репродукции рукописей. Это чрезвычайно огорчало Ольгу Антоновну.

Дмитрий Сергеевич сразу нашел выход: раз нельзя иллюстрировать типографическим способом все издание, надо самим, кустарным путем составить несколько альбомов рисунков. С присущей ему энергией он немедленно принялся за дело: добился, что фотолаборатория Академии наук изготовила снимки рукописей, сам, вместе с Ольгой Антоновной, расклеил их в альбомах. Альбомы переплели в холст. Приятельница Ольги Антоновны художница Шиншарева нанесла на них киноварью орнамент в стиле корбийского письма. Книге с альбомами было присвоено латинизированное название «Corbienses Lenipropolitanae» — Ленинградские корбийские рукописи. Несколько экземпляров этого своеобразного издания поступило в крупнейшие библиотеки мира. Один из экземпляров через несколько лет демонстрировался на Всемирной выставке в Америке.

Идиллическая жизнь была не для Дмитрия Сергеевича. Он по-прежнему мыслил широкими масштабами, хотел чтобы вновь организовать, чувствовать свою причастность к ведущемуся в стране строительству.

Я уже рассказывал о его выступлениях на мартовской сессии Академии наук в 1936 году. Несколько раньше — осенью 1934 года — он сделал на общем собрании Менделеевского съезда доклад «Периодический закон на основе анализа спектров». К этому докладу он готовился долго и тщательно. Собирая и систематизируя большой экспериментальный материал, он обнаружил: спектры редких земель изучены слабо, все наши сведения об этой группе элементов периодической системы более чем скудны. Я помню, как, вернувшись осенью с дачи, Дмитрий Сергеевич говорил:

— Это нельзя так оставить: мы почти ничего не знаем о четырнадцати элементах из девяноста двух! Их своеобразие с физико-химической точки зрения должно несомненно представлять большой технический интерес. Не может быть, чтобы они не нашли практического применения. Надо наладить их исследование.

И Дмитрий Сергеевич начал «налаживать»: составил план работ, написал докладную записку, вошел в Президиум Академии наук с ходатайством о создании Комиссии редких земель. Академия наук пошла навстречу, комиссия была создана. Дмитрий Сергеевич возглавил ее; по его желанию я помогал ему в качестве его заместителя. Комиссия быстро развернула деятельность в стенах Оптического института в тесном контакте с его научным отделом.

Факт создания этой комиссии очень характерен для Дмитрия Сергеевича. Снова удивительным образом сказались его научная прозорливость. Через несколько лет для решения проблемы атомной энергии понадобилось самое глубокое знание физико-химических свойств редкоземельных элементов. Одновременно еще раз подтвердилось, что технические запросы сегодняшнего дня не могут предусмотреть, что понадобится завтра. То, что сегодня кажется объектом пустой любознательности, может завтра приобрести первостепенную практическую значимость.

Новый директор Оптического института Дмитрий Павлович Чехматаев по образо-

ванию был инженером. Его узкая специальность относилась к технологии изготовления винтов. Худой, высокий, с бледным татарским лицом, он выглядел очень молодо. Он говорил всегда однотонным тихим голосом, никогда не проявлял никаких эмоций. Это внешнее спокойствие, возможно, стоило ему больших усилий.

По всей вероятности, Чехматаев был очень честолюбив, как это нередко встречается у тихих, замкнутых на вид людей. Но что бы ни гадать о его внутренних побуждениях, одно несомненно: большая деловая активность и настойчивость уважались в нем с полной неспособностью что-либо видеть за пределами ближайших задач. Какова роль науки в развитии техники и промышленности, он совершенно не понимал. Вместе с тем он отличался чрезвычайной самоуверенностью и больше всего боялся подпасть под чье-либо влияние. Быть может, во главе отраслевого института узкого профиля или заводской лаборатории он оказался бы на месте. Но представить себе менее подходящего руководителя Оптического института было трудно. С упорством, достойным лучшего применения, он начал вытравлять из института всю ту, ненужную на его взгляд, науку, которую так страстно насаждал Дмитрий Сергеевич.

В этой деятельности, как ни странно, Чехматаев находил в какой-то мере поддержку у своего заместителя по научной части — Вавилова. Дело, конечно, заключалось не в том, что Сергей Иванович Вавилов не понимал или недооценивал роль науки в развитии техники. Наоборот, он постоянно повторял о необходимости «научного задела». Но он слишком стремился избегать конфликтов с начальством и понемногу сдавал позицию за позицией. Как-то, по поводу одного из очередных мероприятий Чехматаева, ограничивающих план научных работ в институте, я спросил Дмитрия Сергеевича:

— Но что же смотрит Сергей Иванович?

— Сергей Иванович! — со смешком сказал Дмитрий Сергеевич. — Знаете, он носит в кармане готовое заявление об уходе: оно подписано, нет только даты. Если наступит момент, когда от него потребуют согласия на что-либо совсем неподходящее, он собирается его вытащить. Но решить, наступил ли такой момент, он никак не может.

Чехматаев охотно использовал тогдашнюю систему поощрений. По его настоянию большая группа сотрудников Оптического института была отмечена правительственными наградами за успехи в развитии советской оптической промышленности. В списке награжденных числились и Вавилов и сам

Чехматаев, но Рождественский отсутствовал. На такой мелкий выпад Дмитрий Сергеевич, конечно, не обратил внимания. Но гораздо чувствительнее сказывались те преграды, которые Чехматаев упрямо и систематически создавал Дмитрию Сергеевичу на каждом шагу, стремясь затруднить его личную научную работу. Особенно нападок со стороны Чехматаева заслужили работы по редким землям. Мотив при этом отличался простотой: «редкие земли» встречаются в природе редко, значит заниматься ими не следует.

Дело кончилось тем, что при очередном рассмотрении плана научных работ Чехматаев отказался утвердить работы Дмитрия Сергеевича по исследованию спектров редкоземельных элементов. Возражал ли против такого решения Вавилов или нет — я не знаю. Но одно налицо: и тут Сергей Иванович не счел, что наступил момент вытаскивать из кармана заявление об уходе. Зато Дмитрий Сергеевич решил уйти из Оптического института.

Как все поступки Дмитрия Сергеевича, так и этот поступок отличался деловитостью и продуманностью. Раз нельзя продолжать научную работу в Оптическом институте, ее надо перенести в другое место, перенести организованно, со штатом сотрудников, с оборудованием.

Дмитрий Сергеевич пришел ко мне и спросил, как отнесется университетское начальство к его переходу в университет. В то время только что был назначен новый ректор Золотухин, человек порядочный и доброжелательный. Мне не стоило никакого труда согласовать с ним вопрос о переходе Дмитрия Сергеевича в университетский Физический институт. После этого Дмитрий Сергеевич, не откладывая дела, отправился в Москву, добился постановления Совнаркома о переводе всей его лаборатории, с полным оборудованием и штатом в 6—7 человек, в университет. Дело происходило в самом начале 1939 г. Постановление подписал Молотов.

С этого года Дмитрий Сергеевич вернулся в университет. Расположился он в первом этаже, в той самой комнате, где тридцать лет тому назад начал свои работы по аномальной дисперсии света. Остальные сотрудники поместились на четвертом этаже, над Малой физической аудиторией. Заместителем Дмитрия Сергеевича по лаборатории числился Григорий Соломонович Кватер, помогал ему в его личной экспериментальной работе молодой лаборант Пенкин.

Дмитрий Сергеевич решил вернуться к изучению сил осцилляторов атомов — величин, метод измерения которых он разра-

ботал во времена своей молодости. Работы он ставил с размахом: создавал новые, улучшенные экспериментальные установки, подбирал группу теоретиков — расчетчиков. Одновременно он продолжал свои исследования по теории микроскопа. В стенах же Физического института университета стала действовать Комиссия по изучению редких земель. С переходом Рождественского в университет я тоже полностью перенес свою работу в университет, уйдя из Оптического института, в штате которого пробыл двадцать лет.

Мне постоянно приходилось в это время встречаться и разговаривать с Дмитрием Сергеевичем, и я никогда не слышал от него ни жалоб на случившееся, ни осуждения тех, кто был повинен в его уходе из Оптического института. Он даже сохранил за собой в ГОИ обязанность консультанта по микроскопической группе и не избежал встреч с Вавиловым и Чехматаевым. Он воспринимал жизнь такой, какой она была, со всеми ее плохими и хорошими сторонами. Главное для него была работа, все остальное представлялось второстепенным. Он выглядел в этот период энергично и бодро и несколько раз повторял:

— Ну, лет пять-шесть я еще работаю!

Осенью 1939 года в семье Дмитрия Сергеевича произошло большое несчастье: его жену, Ольгу Антоновну, разбил паралич. Недели через две она умерла. Эта смерть сильно подействовала на Дмитрия Сергеевича. Он сразу как-то осунулся, постарел, лишился своей уверенности. Однако довольно скоро, по крайней мере внешне, он оправился. Снова стал чрезвычайно энергично работать, проводить целые дни в лаборатории. За короткий срок он создал и опробовал новую сложную установку, позволяющую распространить его классический «метод крюков» на изучение тугоплавких элементов. Казалось, худшее осталось позади. Но, по словам Торичана Павловича, дома по вечерам он находился в очень угнетенном настроении и страдал бессонницей.

Так дело дошло до весны 1940 года, когда Дмитрий Сергеевич объявил своим сотрудникам, что скоро уйдет на длительный срок в отпуск. В конце июня, в одну из суббот, он зашел ко мне в комнату. Совершенно неожиданно он сказал, что просит меня взять заведование его лабораторией. Я подумал сперва, что дело идет о заведовании в течение его отпуска, и стал возражать, говоря, что, во-первых, в этом нет надобности, а во-вторых, что я сам собираюсь ехать на дачу до начала сентября.

— Нет, нет,— сказал Дмитрий Сергеевич,— я хочу, чтобы вы вообще согласились заведовать лабораторией.

Я попробовал отговориться:

— Стоит ли об этом сейчас думать, Дмитрий Сергеевич, осенью все станет виднее, вы тогда отдохнете и откажетесь от мысли искать заместителя.

Но Дмитрий Сергеевич настаивал на своем:

— Одни люди стареют раньше, другие позже,— сказал он.— Я надеялся, что проработаю еще лет пять-шесть. Но теперь я вижу, что состарился. Я не смогу больше заведовать лабораторией. Мне очень важно получить ваше согласие сегодня же.

Должен сознаться, что я в тот момент не придал этому разговору большого значения. Я подумал, что Дмитрий Сергеевич с его постоянным стремлением вносить во все вопросы полную определенность, хочет на всякий случай перед длительным отпуском наметить своего возможного заместителя. В конце концов я дал согласие.

На следующий день — в воскресенье — Дмитрий Сергеевич со своими ближайшими сотрудниками по лаборатории Кавтером и Пенкиным отправился в большую автомобильную прогулку по Карельскому перешейку. Впоследствии Николай Петрович Пенкин рассказывал мне, что Дмитрий Сергеевич весь день был оживлен, даже весел, с интересом осматривал следы недавних боев в Териоках и долго сидел на берегу моря.

В понедельник я пришел в университет довольно поздно, вернувшись лишь в то утро с Сиверской. На университетском дворе я встретил Карла Карловича Баумгарта с искаженным от ужаса лицом. Прерывающимся от волнения голосом он сказал мне, что только что у себя на квартире застрелился Дмитрий Сергеевич.

В молодости у Дмитрия Сергеевича была договоренность с Ольгой Антоновой: если один из них умрет, другой — покончит с собой. Но я почти уверен, что не в силу этого договора, отвечавшего экзальтированному характеру Ольги Антоновой, Дмитрий Сергеевич лишил себя жизни. Причина самоубийства была гораздо «рационалистичнее», соответствовала стремлению Дмитрия Сергеевича во все дела вносить ясность и точность до конца. Несомненно, будь Ольга

Антонова жива, он не решился бы на такой трагический шаг. Но с ее смертью отпали психологические мотивы, заставлявшие его продолжать жить, действовала одна голая логическая схема.

А логика вела к следующей цепи рассуждений: есть прямая угроза, что его, как и Ольгу Антонову, разобьет паралич; он будет вынужден лежать один, без близких людей, лишенный возможности работать, не нужный ни себе, ни другим, лежать, быть может, много лет. Этого он не мог допустить, должен был создать гарантию, что такой случай с ним не произойдет. Единственная для этого возможность — предупредить событие, самому раньше уйти из жизни.

Эту идею Дмитрий Сергеевич развивал как-то своему большому другу и родственнику Льву Владимировичу Щербе. Щерба сказал:

— Ну, торопиться нечего, умереть-то всегда успеешь.

— Нет,— возразил Дмитрий Сергеевич,— можешь оказаться таким беспомощным, что не будешь в состоянии покончить с собой. Это надо сделать вовремя.

Что время пришло, он, по-видимому, решил сразу после смерти Ольги Антоновны. Оставалось только закончить дела. И Дмитрий Сергеевич их заканчивал: целый год создавал задуманную экспериментальную установку, на которой потом могли бы работать его ученики; заканчивал статьи по теории микроскопа; перед самой смертью повидался со всеми своими ближайшими родственниками и друзьями.

Когда его нашли, лежащим на полу, мертвым, на столе лежала медицинская книга, по которой он справлялся, как надо стрелять, чтобы смерть наступила наверняка и быстро. Он застрелился из мелкокалиберной винтовки, когда-то поднесенной ему комсомольцами-осоавиахимовцами как почетному шефу их стрелкового кружка.

Николаю Петровичу Пенкину он оставил тетрадь под заголовком: «Что сделать после моей смерти». В ней по пунктно стояло: как подготовить к печати последнюю научную работу; какую надгробную плиту поставить на могилу; кому отдать охапку дров, лежащую в сарае.

Так любил жизнь и верил в жизнь этот человек, добровольно ушедший из нее.

(Окончание в следующем номере.)

## Космические исследования

### «Галилей» фотографирует Венеру

Американская межпланетная станция «Галилей» в середине февраля 1990 г. сблизилась с Венерой. Гравитационный маневр, использующий силы тяготения планеты, придал аппарату добавочное ускорение; в результате, обогнув Венеру на расстоянии около 1,5 млн км, он приобрел скорость около 134 тыс. км/ч.

С расстояния 1,6 млн км приборы «Галилея» сфотографировали Венеру. На снимках различимо характерное образование, имеющее очертания горизонтально направленного клина, который наложен на плотный облачный покров, постоянно окутывающий поверхность планеты. Видимо, он вызван специфической атмосферной циркуляцией. Имеются также изображения атмосферных волн и конвективных облаков в газовой оболочке планеты, причем разрешающая способность позволяет различать детали диаметром всего 40 км.

В декабре «Галилей» в первый раз сближится с Землей, тяготение которой «разгонит» его еще на 25 тыс. км/ч. Второе «свидание» с родной планетой произойдет два года спустя, после чего скорость аппарата увеличится еще на 12 тыс. км/ч. Все это позволит «Галилею», запущенному с помощью ракеты со сравнительно небольшой силой тяги, достичь в 1995 г. основной цели — Юпитера.

Science News. 1990. Vol. 137. № 8. P. 119 (США).

Астрофизика

### Тайминги пульсаров

Пульсары были открыты в 1967 г. как источники импульсного радиоизлучения, обладающего строгой периодичностью.

Однако уже в 1969 г. в созвездии Парус обнаружены пульсар, у которого частота следования импульсов внезапно увеличивалась. Сейчас аналогичные сбои частот, получившие название тайминга, наблюдают у всех пульсаров.

Обычно относительное изменение частоты составляет тысячные доли процента. Эти слабые сбои, видимо, связаны с процессами в магнитосфере пульсара. Примерно раз в несколько лет у одного и того же пульсара наблюдаются и более мощные тайминги — до нескольких процентов. Они скорее всего связаны с особенностями динамики вещества внутри нейтронной звезды.

Д. Пайнс (D Pines; Университет штата Иллинойс, США) и его коллеги предложили модель нейтронной звезды, объясняющую явление тайминги. Согласно ей, нейтронная звезда имеет кору толщиной 100 м из плотно упакованных ядер железа и выроджденного электронного газа, которая вращается с частотой, равной наблюдаемой частоте пульсара. Глубже при плотностях около  $5 \cdot 10^{13}$  г/см<sup>3</sup> вещество представляет собой нейтронную жидкость, состоящую из нормального и сверхтекучего компонентов. Нормальный вращается вместе с корой, сверхтекучий находится в состоянии потенциального вращения, когда в среднем по всему объему жидкости вращения нет, но локально она вращается и образует нити, толщина которых не превышает характерного атомного размера. Линии тока сверхтекучей жидкости есть окружности, плоскости которых перпендикулярны нити, а их центры лежат на нити. (Гипотеза о нитях была предложена Л. Онсагером еще в 1949 г. при анализе движения сверхтекучей жидкости во вращающемся цилиндрическом сосуде.) В нейтронной звезде нити замкнуты и образуют набор вихрей. Плоскости вихревых нитей параллельны оси вращения. Расстояние между вихрями порядка сотых долей сантиметра; взаимодействуя между собой, они об-

разуют необычную решетку. По мнению авторов, вихревые нити «приколоты» к ядрам коры. Если произойдет звездотрясение коры, некоторые вихри могут «отколотиться» и тогда их решетка начнет колебаться. Колебания передадутся железной коре, изменив ее вращение. Так и возникает явление тайминги. После сбоя частота пульсара восстанавливается примерно за 10 дней. Особенности его поведения в это время связаны с характером движения отколотившегося вихря.

Предсказания модели зависят от того, какая модель сверхтекучей нейтронной жидкости используется. Поэтому, наблюдая тайминги пульсаров, можно изучать и свойства сверхтекучего состояния вещества при больших плотностях.

Proceedings NATO Adv. Study Institute. 1990 (США).

Астрофизика

### Релятивистские нейтроны в активных галактических ядрах

До сих пор непонятно, почему у активных галактических ядер спектр излучения плоский: во многих случаях практически горизонтальный участок синхротронного спектра простирается от  $10^9$  до  $10^{12}$  Гц. Модель однородного синхротронного источника, находящегося в таком ядре, не подходит хотя бы потому, что на частотах ниже  $10^{13}$  Гц этот спектр должен был бы «заваливаться», поскольку следует ожидать самопоглощения излучения. В моделях, предполагающих неоднородное распределение космических лучей и магнитных полей, плоский спектр объяснить удается, но ценой очень жесткой связи между пространственным распределением магнитных полей и космических лучей; невольно возникает вопрос о механизмах возникновения столь специфических распределений в природе.

Р. М. Дживанони и Д. Казанас (P. Givanoni, D. Kazanas; Исследовательский центр НАСА) предложили свою модель, которая, похоже, объяснит все свойства спектра активных галактических ядер. В ее основе лежит предположение, что в центре активного галактического ядра образуются интенсивные потоки релятивистских протонов. Взаимодействуя с ядрами атомов окружающего газа, они создают потоки релятивистских нейтронов. Магнитные поля активных галактических ядер не препятствуют распространению нейтронов вплоть до расстояний порядка 1 пк. Распад нейтронов вызывает появление протонов и в конечном счете — релятивистских электронов, ответственных за наблюдаемое синхротронное излучение. И если принять, что магнитное поле убывает с расстоянием как  $1/r$ , то синхротронный спектр этих электронов обязательно должен обладать плоским участком. Пределов многочисленных расчетов, авторы убедились, что релятивистские нейтроны могут объяснить многие характерные особенности излучения активных галактических ядер.

Nature. 1990. Vol. 345. P. 319—322 (Великобритания).

#### Астрофизика

### Солнце в рентгеновском свете

В сентябре 1989 г. в США на высоту около 250 км была запущена исследовательская ракета с оборудованием для внеатмосферного наблюдения солнечных вспышек и короны в рентгеновской части спектра.

Разрешающая способность прибора рентгеновского телескопа нормального охвата, разработанного в Исследовательском центре им. Т. Дж. Уотсона компании IBM, беспрецедентно высокая. Важной составной его частью служит особое зеркало, способное весьма точно отражать коротковолновую (63,5 А) часть рентгеновского излучения.

Пятиминутный период наблюдений совпал с временем

высокой активности Солнца в нужной исследователям части спектра. Это было обеспечено прогнозом, составленным по данным ИСЗ «GOES-6 и -7».

Удалось получить 40 рентгеновских изображений Солнца, на которых хорошо различимы детали размером всего в 1", т. е. с вдвое лучшим разрешением, чем до сих пор. После их обработки, сделанной Л. Голубом (L. Golub; Смитсоновская астрофизическая обсерватория, Кембридж, штат Массачусетс, США), в солнечной короне обнаружены небольшие яркие активные области с температурами 2—3 млн К. Среднего размера вспышки, вздымающиеся над такими областями, возможно, разогревет до 10 млн К.

В солнечной короне наблюдались впадины, которые очерчены вспышками, слишком «холодными», чтобы излучать в рентгеновской части спектра. В северной полярной области Солнца видны корональные струи, вздымающиеся высоко вверх.

До сих пор все подобные свидетельства солнечной активности были недоступны для изучения.

Science News. 1990. Vol. 136. № 14. P. 223 (США).

#### Астрономия

### Крупнейший среди телескопов

Согласно соглашению, заключенному Бразильским университетом в Сан-Пауло с оптической фирмой «Карл Цейс Йена», (Германия), в мае 1990 г. началось строительство телескопа, который должен стать крупнейшим в мире.

Здание обсерватории возводится на горе Ла-Силья в Чили. Строительство должно завершиться через четыре года. В значительной мере телескоп будет обслуживаться с помощью дистанционного управления, что вдвое снизит расходы на его эксплуатацию.

New Scientist. 1990. Vol. 126. № 1719. P. 27. (Великобритания).

#### Физика атмосферы

### На юге молнии сильнее

С 1982 г. на территории США действует Национальная сеть регистрации молний. Р. Э. Орвилл (R. E. Orville; Университет штата Нью-Йорк, Олбани, США) проанализировал записи, выполненные в течение 1988 г. 36 станциями, расположенными вдоль Атлантического побережья США, в пределах восточной части страны. Приборы зафиксировали более 5 млн молниевых разрядов, в интенсивности которых прослеживается довольно отчетливая широтная закономерность. Так, сила тока разрядов на юге, в пределах штата Флорида, в среднем почти вдвое превышает ту, что наблюдается в Новой Англии (север Приатлантической части США).

Изучалась также сила тока в первых возвратных разрядах, направленных от поверхности Земли к облаку. Установлено, что средняя сила тока в таком разряде над Новой Англией составляет около 25 тыс. А, тогда как над северной частью п-ова Флорида она достигает 40—45 тыс. А. Видимо, далее к югу, в экваториальной области, интенсивность молний может быть еще выше.

Одно из объяснений, по мнению Р. Э. Орвилла, может состоять в том, что играет роль объем облака. Как показали наблюдения, в летний сезон кучево-дождевое облако средних размеров над Флоридой простирается примерно на 30 % выше, чем над Новой Англией. Вероятно, большее по объему облако обладает способностью накапливать в себе более сильный электрический заряд и порождать более мощные токи.

Nature. 1990. Vol. 343. № 6254. P. 149 (Великобритания).

#### Техника

### Эффект Джозефсона в микроэлектронике

Японская фирма NEC, крупнейший в мире поставщик электронных схем, приступила к созданию нового поколения бо-

лее быстрых и компактных компьютеров, в которых вместо полупроводниковых элементов будут использованы сверхпроводящие контакты Джозефсона. Скорость передачи информации в них станет в 20—50 раз быстрее, чем в полупроводниковых устройствах из кремния или арсенида галлия, при этом потребление энергии будет в тысячу раз меньше.

Напомним, что контакт Джозефсона состоит из двух слоев сверхпроводящего материала, разделенных слоем диэлектрика. При низких температурах (жидкого гелия или азота) контакт пропускает электрический ток. Он реагирует на превышение током критической величины, а также появление или исчезновение магнитного поля почти мгновенным изменением электрических свойств. Подобная способность к высокоскоростным переключениям, при которых практически не выделяется тепло, имеет большое значение для компьютерных схем, чья работа, по существу, и состоит в огромном числе различных переключений.

Новая сверхпроводниковая схема состоит из четырех слоев сверхпроводников из окислов ниобия и алюминия, каждый из которых имеет толщину 0,2 мкм; она может хранить 4 тыс. бит информации и работает только при температуре жидкого гелия — 269 °С.

В дальнейшем предполагается создавать новое поколение компьютеров на основе сверхпроводящих материалов, работающих при температуре жидкого азота (около —150 °С) и выше.

New Scientist. 1990. Vol. 125. № 1710.  
P. 35 (Великобритания).

#### Техника

### Антиобледенитель-универсал

Обледенение крыльев самолета и винта вертолета — серьезная угроза во время зимних полетов. Л. Хэслим (L. Heslim; Центр военных исследований

НАСА, штат Калифорния, США) разработал новый, более эффективный и экономичный антиобледенитель. Он состоит из тонких проводящих пластин, закрепленных на ленте из полиуретанового пластика шириной 2,5 см и толщиной 1 мм. Его крепят к переднему краю крыла самолета. Расположенные в 0,1 мм друг от друга пластины подключены к импульсному генератору тока так, что отталкиваются друг от друга. В результате, вибрируя, лента и раскалывает образовавшийся на ней лед. (Частота тока — тысячи импульсов в секунду, величина импульса — 1000 А.)

Новый антиобледенитель обладает преимуществами по сравнению с уже известными. Так, пневматический антиобледенитель, раскалывающий лед с помощью сжатого воздуха, пригоден только для борьбы со сравнительно толстыми ледяными покрытиями. При этом откалываются большие куски льда, которые могут повредить двигатель и поверхность крыла. Электротехнический антиобледенитель, расплавляющий лед, неэкономичен, так как потребляет 25 кВт на каждый квадратный метр поверхности крыла.

Новый антиобледенитель удаляет лед любой толщины — от легкой изморози до обледенения толщиной в 2,5 см, при этом лед размельчается на тонкие осколки. Работая на переменном, а не постоянном токе, он потребляет всего 50 Вт/м<sup>2</sup>. Все это позволяет значительно снизить загрузку самолета. Так, новый самолет В-22 с наклонным ротором, взлетающий, как вертолет, и летящий, как самолет, для питания термического антиобледенителя несет 94-килограммовый генератор. Если на нем установить новый электрический антиобледенитель, можно будет сэкономить около 80 кг веса.

Новый антиобледенитель универсален: его можно крепить к крыльям, хвостовому оперению и даже к передним краям ротора вертолета. Он может найти применение и для удаления обледенения с кораблей, мостов и даже в... пекарнях — для выбивания выпечки из формы.

New Scientist. 1990. Vol. 126. № 1716.  
P. 36 (Великобритания).

#### Биохимия

### Бобовое растение «узнает» свою бактерию

Известно, что клубеньковые бактерии, относящиеся к роду азотфиксирующих, образуют на корнях бобовых растений клубеньки, в которых ассимилируют молекулярный азот атмосферы. Как осуществляется взаимодействие растения и клубеньковых бактерий при их симбиозе и, в частности, как растение «узнает» определенный вид бактерий — пока не известно.

Группа французских исследователей во главе с П. Леру (P. Lerouge, Центр биохимических и генетических исследований клетки, Тулуза) изучали химические соединения, выделяемые клубеньковой бактерией *Rhizobium meliloti*, фиксирующей азот в симбиозе с люцерной (Medicago). Таким соединением оказался полисахарид (высокомолекулярный углевод), который и определял хозяйскую специфичность этого вида бактерий. Он представляет собой производное глюкозамина, в котором аминокетильные группы ацетилированы. В лабораторных опытах это соединение в концентрации 10<sup>-9</sup> М вызывало характерное скручивание корневых волосков у люцерны — начальную стадию образования клубеньков.

Таким образом, удалось идентифицировать «химический сигнал», поступающий от бактерий, благодаря которому растение вступает в симбиоз именно с этим видом микроорганизмов.

Nature. 1990. Vol. 344. № 6268.  
P. 781—784 (Великобритания).

#### Биохимия

### Превращения пептидов в водных растворах

Н. Ф. Селетов, М. В. Овчинников, А. М. Коротков и О. Л. Исакова (НИИ экспериментальной кардиологии Всесоюзного кардиологического центра АМН СССР) показали, что некоторые полипептиды, например энкефалин-нейропеп-



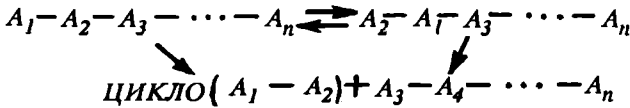


Схема неферментативного превращения полипептидов (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub>, A<sub>n</sub> — аминокислоты).

тид, обладающие обезболюющим действием, в водных растворах претерпевают химические неферментативные превращения, изменяющие порядок следования двух первых аминокислотных остатков.

Большинство реакций в живых организмах, в которых принимают участие белки и пептиды, носят ферментативный характер. Однако в последние годы стало известно о существовании неферментативных превращений белков и пептидов — реакций окисления метионина, рацемизации и др. Эти химические реакции не меняют последовательность расположения аминокислот в цепи.

Авторы обнаружили, что при длительном хранении водных растворов энкефалина (Tyr — Gly — Gly — Phe — Leu) при повышенных температурах образуются пептиды (Gly — Tyr — Gly — Phe — Leu), (Gly — Phe — Leu) и циклический дипептид (Tyr — Gly). Хранение ряда других пептидов в аналогичных условиях также приводит к образованию соединений, в которых аминокислотный состав остался прежним, однако последовательность расположения двух первых аминокислот меняется. Реакция приводящая к изменению последовательности аминокислотных остатков, является обратной, т. е. пептид с измененной последовательностью при хранении в водном растворе вновь превращается в исходный пептид. Скорость как прямой, так и обратной реакции зависит от температуры (с увеличением температуры на каждые 10 град. она увеличивается в 4 раза).

По мнению авторов, подобные реакции могут происходить с белками и пептидами *in vivo*, однако пока они не предполагают экспериментальными данными, подтверждающими это.

Доклады АН СССР. 1989. Т. 309. № 4. С. 1014—1018.

Биохимия

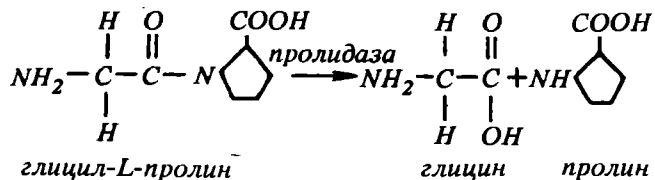
Как «работает» пролидаза

Пролидаза — фермент, катализирующий отщепление аминокислоты пролина от пептидного субстрата. Он присутствует в микроорганизмах, в большом количестве тканей млекопитающих, участвует в метаболизме коллагена — основы соединительной ткани животных. Сбои в работе этого фермента могут приводить к нарушениям многих обменных процессов.

П. Вольфенден с сотрудниками (P. Wolfenden; кафедра биохимии Университета Северной Каролины, США) показали, что наиболее сильно подавляет активность пролидазы в клетке фосфоенолпируват. Это промежуточный продукт гликолиза, не имеющий отношения к ферментам, расщепляющим пептиды и белки, и локализованный в цитоплазме. Ранее считалось, что пролидаза также находится в цитоплазме, но обнаруженные Вольфенденом данные изменили существующую точку зрения на локализацию и функции пролидазы.

Показано, что концентрация фосфоенолпирувата в почках млекопитающих  $5 \times 10^{-5}$  моль/л (пролидазы —  $10^{-7}$  моль/л), а концентрация ингибитора, при которой активность фермента уменьшается вдвое, —  $8 \cdot 10^{-9}$  моль/л. Отсюда следует, что если бы пролидаза, как и фосфоенолпируват, находилась в цитоплазме в свободном состоянии, ее активность была бы полностью подавлена.

Пролидаза расщепляет дипептид.



Значит, выполнять свои функции по отщеплению пролина и избежать ингибирования фосфоенолпируватом пролидаза может, лишь будучи связана с клеточной мембраной, как считают авторы, «заякорена» за нее — и тогда исключается ее контакт с ингибитором.

Journal of the American Chemical Society. 1990. Vol. 112. № 3. P. 1249—1250 (США).

Медицина

Внеклеточный холестерин

Х. Крут с сотрудниками (H. S. Kruth; Национальный институт изучения сердца, легких и крови, США) обнаружили в артериях людей и животных два неизвестных ранее вида богатых холестерином частиц, которые циркулируют в крови, т. е. локализируются в клетках. Частицы одного вида связаны с жирными кислотами и по строению сходны с капельками жира. Частицы другого — представляют собой многослойные сферические образования, и в них не входят жирные кислоты. Оба вида частиц примерно одинаковы по размеру. Второй вид частиц появляется в крови кроликов, если их кормить богатой холестерином пищей, и по мере кормления количество этих частиц увеличивается.

Авторы предполагают, что открытые ими частицы могут служить «хранилищами» холестерина, который выделяется во внешнюю среду, когда его накопление в клетках превышает определенный уровень. Изучается связь между накоплением холестерина в этих частицах и развитием атеросклероза.

American Journal of Pathology. 1990. Vol. 136 № 1. P. 169—180 (США).

## Медицина

**Психотерапия помогает лечить рак**

Д. Спигел с сотрудниками (D. Spiegel et al.; Станфордский университет, штат Калифорния, США) изучали влияние психотерапии на лечение рака. 86 больных получали обычное противораковое лечение, а 50 из них, кроме того, в течение года занимались в психотерапевтических группах, где их обучали дополнительно и самогипнозу от боли.

Наблюдения велись 10 лет, в течение которых 83 больных скончались. Однако длительность жизни в контрольной группе составила 18,9 мес., а в экспериментальной — 36,6 мес. Трое больных, оставшихся в живых, также из экспериментальной группы. Расхождения между группами по выживаемости начались с 20-го месяца от начала занятий психотерапией. Группы не различались по возрасту, полу, тяжести заболевания и другим показателям.

По мнению авторов, нейроэндокринная и иммунная системы — самые вероятные посредники между психическим состоянием и течением ракового заболевания.

Lancet. 1989. Vol. 2. № 8668. P. 888—891 (Великобритания).

## Зоология

**Жабы защищаются... неподвижностью**

Известно, что кожные выделения жаб ядовиты и при попадании на слизистую оболочку и в ранки вызывают сильное раздражение, а ядовитые выделения некоторых видов даже смертельны. Однако существуют животные, маловосприимчивые к яду жаб, например, некоторые ужи поедают их без вреда для себя.

Ф. Хейс (F. E. Hayes; министерство сельского хозяйства Парагвая) описал интересное поведение американских жаб (*Bufo americanus*) сразу после метаморфоза (превращения головастика в лягушонка) при

встречах с ужами — подвзючными змеями (*Thamnophis sirtalis*).

При приближении крупного врага, скажем, человека, жабыта спасаются бегством. Если же приближается мелкий хищник — подвзючная змея, их поведение меняется. Они прижимаются к земле и замирают. Предполагается, что эту реакцию вызывает зрительный образ змеи. При контакте со змеей жабы неподвижны, пока опасность не минет. При соприкосновении с головой змеи они отпрыгивают назад и снова падают к земле. Как показал эксперимент, при встречах со змеями выживаемость жаб при подобном способе защиты выше, чем при каких-либо других вариантах поведения. Вероятно, это связано с тем, что они становятся менее заметны. Автор предполагает, что такая защита от ужей характерна не только для американской жабы, но и для других видов бесхвостых земноводных.

Coreia. 1989. № 4. P. 1011—1015 (США).

## Зоология

**Альбатрос бьет рекорды**

Французские орнитологи П. Жуветен и А. Веймерскирш (P. Jouventin, H. Weimerskirsh; Национальный исследовательский центр Бовуар) снабдили миниатюрными радиопередатчиками весом всего 180 г шесть альбатросов (*Diomedea exulans*), обитавших в юго-западной части Индийского океана. Дальнейшие наблюдения за передвижениями этих крупнейших морских птиц велись с помощью искусственного спутника Земли, принимавшего сигналы передатчиков.

Оказалось, что самец-альбатрос, покидающий самку, которая высидывает яйца, способен пробыть в пути до 33 сут. В одну такую «отлучку» он может покрыть от 3600 до 15 000 км. Птица легко передвигается со скоростью около 56 км/ч на расстоянии более 800 км.

Подобные «рекорды», меняющие все представления орнитологов, возможны лишь благодаря поразительному умению альбатроса пользоваться попутными ветрами и преодолевать встречные потоки воздуха. Такая способность развилась у птиц Южного полушария, где просторы океана значительно превосходят сушу, а ветры постоянно дуют с большой скоростью.

Nature. 1990. Vol. 343. P. 746; New Scientist. 1990. Vol. 125. № 1707. P. 36 (Великобритания).

## Экология

**Божья коровка — индикатор загрязнения Ялты**

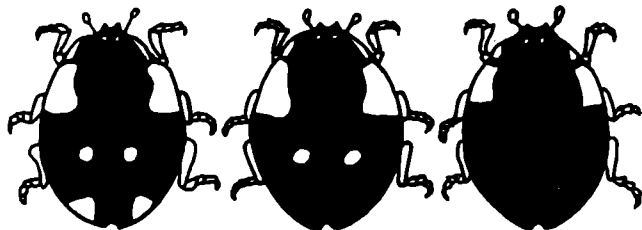
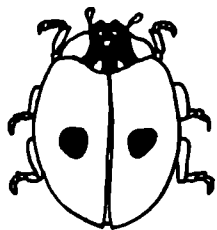
**Н**ЕСМОТЯ на применяемые в последние годы меры, Ялта — экологически неблагоприятный город. По многим показателям ее загрязненность сопоставима с загрязненностью промышленных центров Украины: по пыли — с Днепропетровском и Запорожьем, по сернистому газу — с Керчью, по дауоксиду азота — с Донецком и Кривым Рогом, по бензилену — с Киевом и Харьковом<sup>1</sup>. Индустрия отдыха в окруженной горами Ялте привела к высокой концентрации выхлопного газа автомобилей и теплоходов, дыма котельных.

Вредные влияния антропогенного загрязнения на живые организмы в Ялте мы попытались выявить на хорошо генетически изученной божьей коровке *Adalia bipunctata*. Надкрылья этого вида, как правило, имеют красную окраску с двумя небольшими черными пятнами. Редко встречаются мутанты с преобладающей черной окраской и небольшими красными пятнами. Эти генетические различия впервые в нашей стране изучал крупнейший генетик-эволюционист Ф. Г. Добржанский<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Здоровье нашего дома. Сессия Ялтинского городского Совета народных депутатов // Сов. Крым. 1989. 8 апреля. С. 2.

<sup>2</sup> Наумов Г. И., Ф. Г. Добржанский (1900—1975) и советская генетика (светлой памяти великого биолога) // Генетика. 1989. Т. 25. № 6. С. 1131—1135.

Различные типы наследуемой окраски надкрылий двуточечной божьей коровки



часть города) и Железноводске в 1985 г. была примерно в 10 раз ниже.

Накопление черных особей мы, как и другие авторы, не связываем с непосредственным мутагенным воздействием выхлопных газов. Вероятно, черные адалии более устойчивы к токсическим веществам, и антропогенный отбор сыграл в этом свою роль.

Г. И. Наумов,  
доктор биологических наук

Д. Г. Наумов

Всесоюзный научно-исследовательский институт генетики и селекции промышленных микроорганизмов  
Москва

Изменчивость божьей коровки в городских популяциях

Место сбора	Число особей	% красных	% черных
Ялта (I)	505	35,05	64,95
Ялта (II)	193	43,01	56,99
Ялта (III)	205	24,39	75,61
Москва	176	94,89	5,11
Воронеж	385	95,32	4,68
Железноводск	108	91,67	8,33

Биология

Впервые детеныш филиппинского долгопята выращен в неволе

Долгопяты (промежуточная форма между лемурами и низшими обезьянами) — это настоящие живые ископаемые: их остатки найдены в палеоценовых и эоценовых отложениях Западной Европы и Северной Америки. Ныне почти все это семейство вымерло и представлено лишь одним родом с тремя видами, в том числе филиппинским долгопятом (*Tarsius syrichta*). Все три вида внесены в Красную книгу Международного союза охраны природы.

Обитают долгопяты на островах Филиппинского, Зондского и Малайского архипелагов; живут в тропических дождевых лесах, ведут ночной древесный образ жизни; питаются насекомыми, пауками, ящерицами; на свободе рожают одного детеныша, а в неволе не размножаются и выживают с трудом. Первый удачный опыт искусственного выращивания филиппинского долгопята в неволе осуществлен в американском Приматологическом центре Университета Дюк Дурхем (Северная Каролина)<sup>1</sup>.

Его ученик Я. Я. Лусис обнаружил, что черные формы божьей коровки приурочены к индустриальным центрам, расположенным в местностях с влажным морским климатом<sup>3</sup>. На первый взгляд, в непромышленной Ялте они должны быть исключением. Но в коллекции, собранной Лусисом в Ялте в 1958 г., среди 244 экземпляров было 58,2% черных и 41,8% красных адалий, а в степной части Крыма (на выборке 115 жуков) — 2,6 и 97,4% соответственно.

В последующих более полных исследованиях убедительно показана связь между распространенностью черных адалий и индустриальным загрязнением ряда городов мира<sup>4</sup>.

Причиной гибели красных адалий авторы считали задымление.

В экспедиционных исследованиях на Южном берегу Крыма в 1989 г. мы обратили внимание на большую распространенность божьей коровки с черной окраской надкрыльев в Ялте. Мы собирали их в июне — июле на пораженных тлей алыче и мордовнике (популяции I и II), растущих у шоссе дорог с интенсивным движением транспорта, а также на тамариске (популяция III) из парка напротив центральной набережной, загрязненной морским транспортом.

По приведенным в таблице данным видно, что во всех местах сбора преобладали черные особи. Интересно, что частота встречаемости черных адалий в Москве (район Чертанова), Воронеже (центральная

ка популяция *Adalia bipunctata*: концепция «жесткого и гибкого» полиморфизма // Исследования по генетике. Л., 1981. № 9. С. 112—129.

<sup>3</sup> Лусис Я. Я. О биологическом значении полиморфизма окраски у двуточечной коровки *Adalia bipunctata* // Latv. entomologs. 1961. № 4. С. 3—29.

<sup>4</sup> Creed E. R. Two spot ladybird as indicators of intense local air pollution // Nature. 1974. Vol. 249. P. 390—391; Сергиевский С. О., Захаров И. А. Экологическая генети-

<sup>1</sup> Zoo Biology. 1989. Vol. 8. P. 265—274 (США).



Филиппинский долгопят. Характерны крупная и очень подвижная голова (может поворачиваться на 180°) и голый с кисточкой на конце хвост; тонкие костлявые пальцы снабжены подушечками-присосками.

Филиппинских долгопятов содержали здесь при 28—31 °С, относительной влажности 60—80%; кормили живыми сверчками и ящерицами. Новорожденную самку поместили в инкубатор в первый же день жизни: мать часто ее роняла. Первоначальный вес новорожденной (20 г) удвоился на 41-й день, а на 101-й — утроился. Свой первый удачный прыжок она сделала на 25-й день, однако после 51-го ее состояние ухудшилось: появились дрожь и вялость, которые удалось снять благодаря солнечным ваннам, УФ-облучению и введению в рацион гомогената печени. На 68-й день она поймала свою первую добычу. Второе ухудшение наблюдалось на 195-й день (те же дрожь и вялость, изменение цвета шерсти). Улучшение наступило на 201-й день — после солнечных ванн, увеличения дозы витаминов и добавления в рацион 3—4 штук различных насекомых. После

60-го дня новорожденную самку стали знакомить со взрослыми через решетку, но ввиду их агрессивности детеныша объединили в клетке с самцом, где она прожила с 99-го по 281-й день, пока самец не начал ее преследовать, после чего она была отсажена в другую клетку.

Исследователи полагают, что причиной высокой смертности новорожденных долгопятов в неволе (если они выращиваются матерью) могут быть их частые падения во время охоты самки.

© А. В. Веселовская  
Москва

Ботаника

### Список сельскохозяйственных растений расширяется

Хотя список возделываемых растений превышает 3 тыс., культуры, занимающие свыше 95% мировой пашни, насчитывают не более 20. Ныне, когда сиюминутный, чисто экономический подход в растениеводстве сменяется эколого-экономиче-

ским, возникает потребность в разнообразии выращиваемых растений, подборе для разных условий разных видов, экономно расходующих воду и минеральные удобрения и не требующих тех фантастических количеств пестицидов, которые сопровождают современное земледелие и ведут к росту числа болезненных коек.

В 1978 г. был образован Международный совет по новым культурам, объединивший более 200 ученых из 36 стран. Его обширная программа включает создание генного банка (коллекции семян перспективных растений или культур тканей), обмен семенным материалом между научными коллективами, сортоиспытания и т. д.; в руководство совета вошел и нобелевский лауреат Н. Борлоуг — автор сортов пшеницы, с которых начиналась «зеленая революция». Совет проводит регулярные совещания по итогам изучения возможностей расширения ассортимента культурных растений; в 1989 г. опубликованы труды последнего из них<sup>1</sup>.

Наиболее активно развиваются исследования по обогащению состава возделываемых культур в низких широтах, где особенно разнообразны условия (от пустынь до тропических лесов).

В Индии в список растений, претендующих на выращивание в культуре, внесено 300 видов (из 15 тыс., произрастающих здесь); среди наиболее перспективных (81 вид) — особые расти при дефиците осадков без полива и на засоленных почвах. В нью-дельийской коллекции семян культурных растений — 50 тыс. образцов: наряду с пищевыми — новые каучуконосы, таниносы, волокнистые, топливные и другие перспективные растения.

В Эфиопии широко распространен теф — злак, не выращиваемый за пределами этой страны. Местные жители предпочитают его другим злакам: пекут из него хлеб, кондитерские изделия, варят кашу, гото-

<sup>1</sup> New crops for food and industry: International Symposium. Southampton, 1986; L.—N. Y., 1989.

вят алкогольные напитки. Культура имеет высокую рыночную цену, рентабельна. Разнообразие экотипов тефа создает идеальные предпосылки для селекции его сортов с разной экологией и их распространения в других странах с жарким климатом.

В ближайшие годы намного расширится ассортимент африканских пищевых и технических культур из числа корне- и клубнеплодов (сегодня их число ограничено маниоком, бататом, ясом, иерусалимским артишоком, морковью и луком). По крайней мере в 20 семействах местной флоры имеются претенденты на роль культурных растений. Состав возделываемых культур может быть расширен также за счет интродукции.

Возможности обогащения генофонда культурных растений в умеренных широтах не столь богаты, однако и здесь существуют перспективные для ввода в культуру кормовые, лекарственные, технические и декоративные растения.

© Б. М. Миркин,  
доктор биологических наук

ды, полихлорированные бифенилы, тяжелые металлы. Значительно более высокий уровень их концентрации в тканях двустворчатых моллюсков по сравнению со средой обитания и позволяет проводить точные и надежные анализы.

Environmental Science and Technology. 1990. Vol. 24. № 2. P. 153 (США).



Охрана природы

## Озеленение Австралии

Австралийская программа «Миллиард деревьев» предусматривает восстановление лесов в течение 10 лет на 10 млн га (2 % сельскохозяйственных угодий страны, или 10 % ранее обезлесенных территорий).

За последние 150 лет на материке от естественной растительности очищено 103 млн га: 40 млн га лесов (половина их площади) и 63 млн га редколесий и зарослей колючих кустарников — скрэба (одна треть). Эрозия, окисление, засоление, нарушение структуры почв ежегодно обходятся сельскому хозяйству Австралии в 1 млрд австрал. долл. Чтобы приостановить эти процессы, необходимо сразу затратить 2,5 млрд долл., а затем ежегодно — по 180 млн (расходы, сопоставимые с военными).

Законодательство и природоохранное движение в большинстве штатов Австралии вынуждают лесную промышленность после вырубок закладывать новые лесные плантации. Добровольные общества, организации лесной индустрии, местные органы власти высадили в 1985—1988 гг. 201 млн деревьев. Большой опыт лесонасаждения накоплен фермерами (в Западной Австралии будет действовать целлюлозно-бумажный завод на базе фермерских плантаций). Ведется клонирование древесных пород с особыми характеристиками, например солеустойчивых. В устройстве электрических оград для защиты посадок от домашнего скота и кроликов используются гелиоэнергетические установки. Однако выделенные на все это

правительством 47 млн долл. — лишь около 2 % необходимой суммы. Основные поступления ожидаются от частных лиц.

Our Planet. 1990. № 1. P. 7—8 (Великобритания).



Охрана природы

## Биологический мониторинг океанских глубин

В Институте океанографических наук Великобритании приступили к осуществлению обширной программы по изучению воздействия антропогенных факторов на биоту больших глубин. Эти районы Мирового океана нередко используются для захоронения отходов. Кроме того, хотя масштабы добычи минеральных ресурсов с больших глубин пока сравнительно невелики, они уже привлекают интерес правительств ряда стран и частных горнодобывающих компаний.

Впервые разработана методика биологического мониторинга для больших глубин. Планируется комплексное исследование бентоса — его микро-, мезо- и мегафауны. Подробное исследование всех компонентов бентоса будет сочетаться с изучением биоты меньших глубин. Для мониторинга создается новая техника отбора проб.

Marine Pollution Bulletin. 1990. Vol. 21. № 1. P. 34 (США — Великобритания).

Гидробиология

## Накопление элементов в морских организмах

Г. Н. Саенко (Институт океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР) по результатам многолетних исследований биоты Японского, Охотского и Черного морей были выявлены закономерности концентрирования металлов и галогенов морскими организмами. Математический анализ содержания элементов в различных их крупных таксонах свидетельствует о единстве процессов, лежащих в основе на-



Охрана природы

## Программа мониторинга океанских вод

Национальное управление США по изучению океана и атмосферы выделило 11 млн долл. на Программу по изучению состояния двустворчатых моллюсков, рассчитанную до 1994 г.

Моллюсков собирают вдоль западного и восточного побережий США, у Аляски и Гавайских о-вов (одновременно отбирая пробы грунта) и затем исследуют их ткани в поисках возможных патологических изменений.

Двустворчатые моллюски (преимущественно мидии) — наиболее удобный индикатор загрязнения океанской среды: они находят пищу на грунте и вместе с ней поглощают и постепенно концентрируют в организме всевозможные загрязнители океана, прежде всего пестициды, ароматические углеводоро-

## Среднее содержание микроэлементов в морских организмах (мкг на 1 г сухого вещества)

Элемент	Планктон	Водоросли			Цветковые растения	Моллюски
		красные	зеленые	бурые		
Br	—	657	432	1004	203	—
I	—	897	87	2250	69,5	—
Fe	5612	654	579	287	139	109
Mn	3490	281	278	117	108	14,7
Sn	—	—	107	77	90,7	—
Al	—	—	210	71	12,9	68,5
Ti	129	47,4	45,5	47,4	23,9	—
Zn	—	44,5	30,9	23,3	43,5	64,7
Si	—	—	2	44,9	0,58	120
Pb	—	—	2,7	14,3	19,3	4,0
Cr	45,5	10,7	18,7	7,5	7,5	1,1
Cu	79,2	8,9	8,7	6,5	5,6	6,4
V	12,5	5,3	4,1	9,8	6,1	—
Mo	—	5,2	6,6	3,1	10,0	—
Co	—	3,2	4,6	8,2	2,7	1,0
Ni	—	2,2	4,2	4,1	5,5	2,0
Cd	—	—	1,5	1,4	3,4	7,0
Au	—	—	2,0	1,45	2,33	6,5
Ag	—	—	0,25	0,54	0,34	—
U	—	—	0,015	0,39	—	0,01

Примечание. Число членов выборки n для Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo у красных водорослей в среднем — 57, для I и Br — 19, у зеленых — 38 и 6, у бурых — 56 и 29, у цветковых растений — 12 и 4 соответственно. Число членов выборки для остальных микроэлементов ниже и составляет в среднем у бурых водорослей — 22, у цветковых растений — 6 и у зеленых водорослей — единичные определения. У моллюсков в среднем — 38, у планктона — 4.

копления металлов живым веществом океана. В ходе эволюции меняются лишь количественные соотношения, качественные же характеристики, отражающие степень концентрирования, остаются в основном постоянными.

Сильнее всего концентрационная способность выражена у планктона: содержание всех изученных элементов в нем на порядок и более выше, чем в водорослях, цветковых растениях и моллюсках (таблица). По степени поглощения и концентрирования морской биотой металлы и галогены выстраиваются в следующий ряд: Br>I>Fe>>Mn>Al>Sn>Ti>Zn>Si>Pb>>Cu>Cr>V>Mo>Co>Ni>>Cd>Au>Ag>U. Сравнивая этот ряд со средним составом живого вещества планеты, можно отметить ряд особенностей, в частности более высокие содержания в морских организмах I и Br.

По содержанию металлов крупные таксоны можно расположить в следующей иерархии:

планктон>водоросли (красные>зеленые>бурые)>цветковые растения>моллюски. Как для крупных таксонов, так и для отдельных видов характерна высокая изменчивость в содержании микроэлементов. В морских растениях наиболее сильно меняется концентрация марганца, железа и титана — металлов, имеющих первостепенное значение в фотосинтезе, а также брома и иода — галогенов, которые входят в состав белков, аминокислот, веществ фенольной природы.

Рассмотрены автором также изменения соотношений металлов у морских организмов, стоящих на разных ступенях эволюционного развития. Так, содержание железа (и его отношение к содержанию других металлов) в последовательности: красные>зеленые>бурые водоросли>цветковые растения — тем выше, чем древнее группа.

Доклады АН СССР. 1989. Т. 306. № 3. С. 759—764.

## Геология

## Гидротермы на дне озера

Озеро Кратер-лейк заполняет кальдеру на месте потухшего вулкана Мадзама в Каскадных горах (штат Орегон, США). Его длина 10 км, а наибольшая глубина 914 м. В 1988—1989 гг. ученые из Университета штата Орегон исследовали озеро с подводного обитаемого аппарата, чтобы определить влияние на его экологию буровых работ, ведущихся в связи с изысканием геотермальных источников. Мадзама входит в «огненное кольцо» Тихого океана и связан с магматическим очагом под Каскадными горами. Считается, что такие магматические очаги формируются в процессе субдукции океанских плит Хуан-де-Фука и Горда под Северо-Американскую плиту.

У дна озера на глубине 610 м температура воды оказалась 19 °С, тогда как средняя температура водной толщи со-

ставляет всего 3,3 °С. Отмечены признаки происходящих под дном озера вулканических процессов: их отражением служат выходы кремнистой породы, которые образуют на дне «шпили» высотой около 10 м, напоминающие постройки «черных курильщиков» на гидротермальных полях срединно-океанических хребтов. Содержание радона в глубинных водах озера в 2000 раз больше, чем у поверхности; необычно высока в придонных водах и концентрация гелия-3, что надежно указывает на близкое расположение магмы. Высокая плотность придонных вод обусловлена значительной концентрацией солей; эти соленые воды заполняют небольшие впадины на дне озера. Открыты донные сообщества, сходные с сообществами гидротермальных источников, обнаруженных в конце 70-х годов на дне Тихого океана. Дно озера покрывают «маты» ярко-желтого и оранжевого цветов, достигающие в поперечнике 15 м и образованные хемосинтезирующими бактериями.

Проводимые буровые работы существенного воздействия на экологию озера не оказывают.

Marine Pollution Bulletin. 1989. Vol. 20. N 11. P. 540—541 (США и Великобритания).

Геофизика

**Со спутника измерена деформация земной коры**

Деформацию земной коры можно установить, используя спутниковую глобальную систему определения положения (GPS — «The Global Positioning System»). Группа специалистов Национального научно-исследовательского центра по предотвращению стихийных бедствий (Япония) провела такие измерения в июле 1989 г. у восточного побережья п-ова Идзу. На побережье и островах была развернута сеть приемников спутниковых сигналов, позволявшая ежедневно определять с высокой точностью положение фиксированных точек на земной поверхности. В результате впервые получена непрерывная запись

деформаций земной коры в период усиления сейсмической активности, отмеченного 4—10 июля.

Самое сильное землетрясение произошло 9 июля. Последовавшие за этим толчки на дне завершились 13 июля подводным извержением. С помощью GPS в maximume сейсмичности зафиксирована значительная деформация растяжения земной коры в меридиональном направлении. Длина базисной линии между двумя фиксированными точками на острове и на берегу, в 12 км друг от друга, увеличилась на 14,5 см (точность измерений ±3 мм). Растяжение привело к разрыву земной коры перпендикулярно линии растяжения, через который и произошло извержение магмы. Непрерывная запись деформаций показала, что разлом образовался до начала толчков и извержения, а подъем магмы, вызвавший эти вулканические проявления, был строго локализован.

Достоверность полученных с помощью GPS данных подтверждается измерениями традиционной сейсмографической аппаратурой.

Nature. 1990. Vol. 344. No 6259. P. 631—633 (Великобритания).

Океанология

**Гелий в поверхностном слое океана**

В экспедиции научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР, проходившей в феврале — мае 1989 г. в Северной Атлантике, велась непрерывная регистрация концентраций гелия в поверхностном слое воды.

Впервые обнаружены зоны аномально высоких его концентраций (в некоторых случаях — в несколько сот раз выше обычных в поверхностном слое океана). Все эти зоны (в поперечнике от 2 до 5 км) расположены над тектонически активными структурами дна и, таким образом, как бы являются их отражением. Наиболее выра-

женные аномалии установлены у подножия континентального склона над глубинным разломом земной коры и над отдельно стоящей вулканической горой (гайотом) к востоку от Срединно-Атлантического хребта. Поскольку гелий не образуется ни в поверхностных, ни в промежуточных слоях воды, единственным его природным источником может служить океанское дно, куда он поступает из глубинных горизонтов земной коры по существующим активным тектоническим разломам.

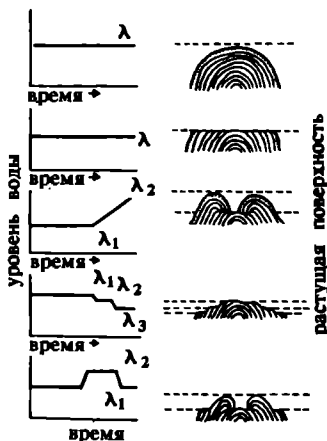
Высокая чувствительность и производительность водно-гелиевой съемки позволяют использовать ее для получения оперативной информации об особенностях геологического строения дна акваторий.

Доклады АН СССР. 1990. Т. 310. No 3. С. 704—706.

Океанография

**Микроатоллы — регистраторы уровня моря**

В Индийском и Тихом океанах часто встречаются колонии кораллов (преимущественно Porites), которые образуют атоллы диаметром всего в несколько метров. Такие микроатоллы, как считают австралийские ученые



Рельеф микроатоллов (справа) при различных изменениях уровня моря λ (слева).



К. Вудроуф (С. Woodrofe; географический факультет Университета Вуллонгонга, Новый Южный Уэльс) и Р. Маклин (R. McLean; факультет географии и океанографии Австралийской Академии обороны, Канберра), могут служить естественным регистратором временной изменчивости уровня моря.

Оказывается, пока микроатоллы постоянно покрыты водой, они растут в виде полусферы; если уровень моря падает, кораллы на вершине микроатолла отмирают и он растет по периферии, в боковых направлениях. Таким образом, любые изменения уровня моря отражаются на профиле поверхности микроатолла, а хронологию событий можно восстановить по годовым кольцам его роста (аналогичным кольцам деревьев), которые отчетливо проявляются на рентгенограммах.

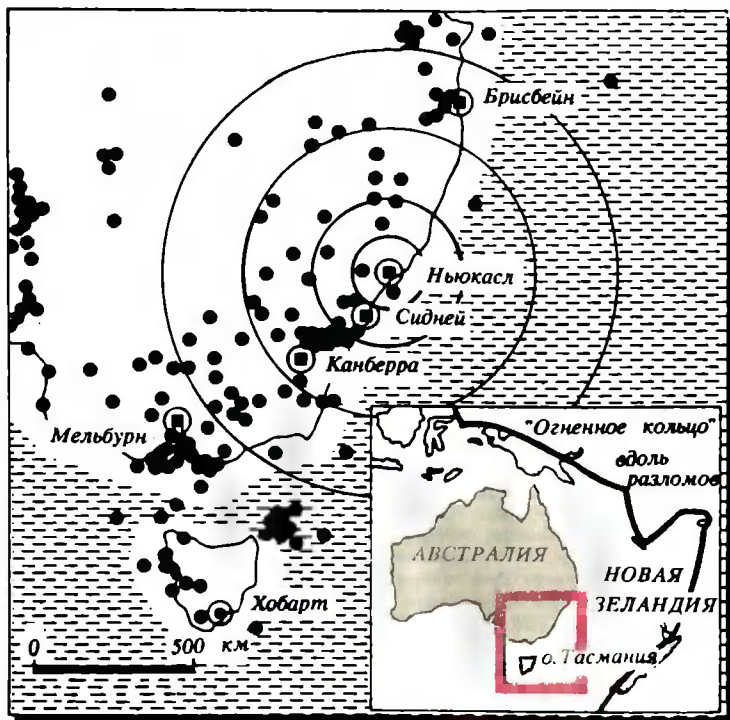
Исследовав большое число микроатоллов в Индийском и Тихом океанах, ученые установили, что они дают сопоставимые данные, хорошо совпадающие с результатами инструментальных измерений уровня моря, и, кроме того, свидетельствуют о некотором его падении за последние 10 лет. В районах, где отсутствуют посты для инструментального измерения уровня моря, важным источником информации могут стать микроатоллы.

Nature. 1990. Vol. 344. № 6266. P. 531—534 (Великобритания).

#### Сейсмология

### Землетрясение, «которого не должно было быть»

В Австралии широко распространено мнение (встречается даже в учебниках), что землетрясений — по крайней мере сильных — на ее территории быть не должно, и объясняется это тем, что Австралия — один из древнейших континентов с давно угасшей сейсмической активностью. Однако 28 декабря 1989 г. в районе Ньюкасла (штат Новый Южный Уэльс) произошло длившееся 11 с землетрясение, магнитуда  $M$  кото-



Эпицентры землетрясений с  $M > 4$ , зарегистрированных на юго-востоке Австралии с 1859 г. по настоящее время.

рого достигала 5,5 по шкале Рихтера. Погибло 12 человек, около 200 было ранено, значительный ущерб причинен многим зданиям.

Специалисты во главе с К. Маккью (К. McCue; Австралийский сейсмологический центр, Канберра) немедленно развернули сеть сейсмографов, однако зарегистрирован был лишь один повторный толчок магнитудой 1,5. Эпицентр землетрясения располагался, видимо, непосредственно в центре Ньюкасла, а гипоцентр лежал на глубине около 5 км. Разрушения объясняются не столько силой толчка, сколько малой глубиной залегания очага, а также излишне мягкими правилами сейсмостойкого строительства, принятыми в Австралии.

На восточном побережье страны, где произошли эти события, нет разрывных нарушений земной коры наподобие известного разлома Сан-Андре-

ас в Калифорнии, отличающегося высокой сейсмичностью. Область между Мельбурном и Ньюкаслем считается «внутриплитовой зоной», где природа сейсмичности иная.

Приведем к толчку напряжения в земной коре, возможно, накапливалось в Австралийской плите в результате движения других плит примерно вдоль линии, соединяющей о. Новая Гвинея с Новой Зеландией и Антарктидой. Необычен, однако, факт, что толчок произошел в северной части плиты, до сих пор считавшейся областью малого риска. Специалисты удивлены также тем, что зафиксировано всего один повторный толчок, хотя первый сейсмограф специальной сети установили уже через 12 ч после главного события, а остальные — на следующее утро (обычно после землетрясений с  $M = 3-4$  отмечается до 20 повторных толчков).

В Австралийском сейсмологическом центре ведется все-

«Внутриплитовые» землетрясения // Природа. 1990. № 6. С. 116.

сторонний анализ собранной информации, после чего будет пересмотрена карта сейсмоявления юго-востока страны. Предполагается также внести соответствующие изменения в строительные нормы. Для сведения общественности опубликована карта исторических землетрясений в данном регионе.

New Scientist. 1990. Vol. 125. N 1698. P. 26 (Великобритания).

ся при увеличении размеров особи с возрастом. Отсюда следует, что все зольнохофенские находки относятся к одному виду, представленному экземплярами разного индивидуального возраста. Вероятно, ни один из них не является взрослым.

New Scientist. 1990. Vol. 125. № 1700. P. 32 (Великобритания).

#### Организация науки

#### Палеонтология

### Археоптерикс — один вид или несколько?

Впервые остатки ископаемой пернатости — археоптерикса — попали в руки ученых в 1861 г. С тех пор науке стали известны еще пять его представителей<sup>1</sup>, живших 150 млн лет назад, причем все они найдены в одном и том же месте — копия Зольнохофена (южная Бавария, ФРГ). Принадлежат ли эти находки различным видам или одному — спор не утихает до сих пор.

Самый крупный среди известных археоптериксов был с ворону, а самый маленький — вдвое меньше. Пропорции тела также у них различны, что и позволяет некоторым специалистам относить их к разным видам. Но недавно группа ученых из Университета штата Мичиган (Анн-Арбор, США) построила математическую модель морфологии археоптерикса, введя в нее данные по костям скелета всех известных экземпляров. Проанализировав различия между ними в зависимости от размеров тела, удалось установить, что пропорции всех шести экземпляров хорошо ложатся на кривую, описывающую аллометрический рост археоптериксов. Другими словами, пропорции тела плавно меняют-

### Ассигнования на науку в США

Составленный правительством США проект расходов на 1991-й бюджетный год, начинающийся с 1 октября, предусматривает государственные (федеральные) ассигнования на развитие науки и техники в сумме около 66 млрд долл. — на 2 млрд больше, чем в 1990 г. Обращает на себя внимание, что впервые почти весь прирост ассигнований (1,5 млрд долл.) направляется на исследования в области гражданской, а не военной науки и техники. Если прежде исследования в военных целях поглощали от 64 до 69 % всех государственных расходов на науку и технику, то ныне их удельный вес снижен до 61 %, причем предполагается их дальнейшее сокращение. (Общие расходы на 1991-й бюджетный год — около 1,3 трлн долл.)

Бюджет Национального научного фонда — главного субсидирующего фундаментальную науку США органа — достигнет 2,4 млрд долл. (прирост на 14,4 % по сравнению с 1990 г.), а к 1993 г. его предполагается удвоить по сравнению с 1987 г. Наибольшее увеличение расходов в 1991 г. предусмотрено на образование и подготовку специалистов в области естественных и технических наук.

Предполагается выделить 47 млн долл. для начала строительства высокочувствительных детекторов гравитационных волн (один из них будет принадлежать Калифорнийскому технологическому институту в Пасадене, другой — Массачусеттскому технологическому институту в Кембридже). Чтобы приступить

к сооружению двух 8-метровых телескопов (один — в Северном, другой — в Южном полушарии), работающих в оптической и инфракрасной частях спектра, ассигнуются 4 млн долл. Прибавка в 23 млн долл. ожидает программу антарктических исследований США; 17 млн долл. из этой суммы пойдет целевым назначением на очистку природной среды ледового континента от загрязнения.

В 1989 г. в США создан Комитет по наукам о Земле. Эта новая межведомственная организация взяла на себя, в частности, ответственность за координацию всей деятельности в федеральных масштабах, связанной с международной программой «Глобальные изменения», которая призвана изучать негативные последствия для природной среды антропогенных топлив, использование озоноразрушающих химических веществ и т. п.). Ассигнования в этой области достигают 853 млн долл. (прирост по сравнению с 1990 г. на 43 %). На 4,3 % больше выделяется в распоряжение Национального управления по авионавигации и исследованию космического пространства (всего 15 млрд долл.). Значительная часть этой суммы предназначена для создания новой космической системы наблюдения Земли, также связанной с программой «Глобальные изменения». Увеличивается финансирование Национальной метеорологической службы США. Начнется разработка спутника «Лунар обсервер», предназначенного к запуску в 1996 г. для детальной съемки всей поверхности Луны с лунополярной орбиты.

Science News. 1990. Vol. 137. № 5. P. 71, 76 (США).

<sup>1</sup> Шестая находка археоптерикса // Природа. 1989. № 5. С. 121; Птицы все-таки произошли от динозавров? // Природа. 1988. № 6. С. 120; Протоавис — древнейшая птица? // Природа. 1987. № 11. С. 116.

14 апреля 1990 г. с космодрома на м. Канаверал (штат Флорида, США) ракетой-носителем «Дельта-2» выведен на орбиту индонезийский телекоммуникационный спутник «Палапа В-2Р». Спутник стоимостью 60 млн долл. выводится в космос во второй раз; в ноябре 1984 г. он был снят с орбиты экипажем космического корабля «Дискавери» и возвращен на Землю для ремонта.

TACC

В центре космических полетов им. Л. Джонсона (Хьюстон, США) разработан проект оптической системы предупреждения столкновений в космосе. Ее основной узел — небольшой электронный телескоп, который через несколько лет планируется установить на одном из шаттлов. Система будет действовать в дневное и ночное время, работая в инфракрасном диапазоне. Обнаружив по курсу космического корабля объект, телескоп автоматически включает радар, который подает сигнал тревоги и сообщит астронавтам, сколько времени у них осталось для принятия аварийных мер.

Система необходима, поскольку опасность столкновений в космосе неуклонно возрастает. Ныне в околоземном пространстве находится свыше 6600 крупных объектов — уже не функционирующих спутников, частей ракет-носителей, обломков других аппаратов и т. п.

TACC.

В ближайшее время Израиль намерен запустить научный спутник «Амос» для проведения астрофизических исследований. Среди прочих приборов он оснащен тремя телескопами, работающими в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах спектра.

TACC

Независимая комиссия, готовящая рекомендации по безопасности космических полетов для НАСА, пришла к заключению, что сохраняется риск серьезной аварии на шаттлах. По мнению экспертов, самое слабое место — маршевая двигательная установка, требующая модернизации. В связи с этим необходимо разработать новый скафандр для астронавтов, рассчитанный на большее число выходов и длительное пребывание в открытом космосе.

TACC.

Группа экспертов НАСА, Национальной академии наук и Национального исследовательского совета пришла к выводу, что, хотя США и СССР необходимо координировать усилия по изучению Марса, каждая страна должна самостоятельно исследовать эту планету. Не рекомендовано также предпринимать в ближайшем будущем совместный полет к Марсу. В 1992 г. НАСА намерено отправить к Марсу космический аппарат, который в течение года будет находиться на его орбите, делая снимки поверхности и собирая информацию об атмосфере и магнитном поле планеты.

TACC.

Английская фирма «Фарос мэрин» разработала противотуманные датчики, в которых для дистанционного измерения плотности тумана применен зондирующий инфракрасный луч. С появлением тумана датчики автоматически включают предупреждающие сигналы и передают соответствующие сообщения в центр управления движением. На кольцевой автодороге вокруг Лондона создается система, которая, используя показания датчиков, будет сообщать водителям рекомендуемую скорость.

The Financial Times. 1990. № 31045. P. 25 (Великобритания).

В стереофонических магнитофонах индивидуального прослушивания максимум громкости (около 100 дБ) приходится на частоты 1 и 4 кГц, к которым наиболее чувствительно человеческое ухо. Длительное воздействие такой громкости на указанных частотах может, по мнению специалистов, привести к необратимому ухудшению слуха.

New Scientist. 1990. Vol. 125. № 1699. P. 27 (Великобритания).

Как установили американские ученые, глинистые минералы тоберморит и монтмориллонит после специальной химической обработки эффективно связывают токсичные промышленные отходы (в том числе радионуклиды) и адсорбируют органические соединения типа ароматических углеводородов, пентахлорфенолов, полихлорбифенилов. Тоберморит предпочтительнее для поглощения неорганических соединений, а монтмориллонит, обработанный гидроокисью алюминия с добавлением поверхностно-активных веществ, — для очистки стоков, содержащих органические вещества.

American Ceramic Society Bulletin. 1989. Vol. 68. № 10. P. 1750, 1785 (США).

Международный союз охраны природы опубликовал проект мер для сохранения уникальной альпийской среды. Ежегодно Альпы посещает около 100 млн туристов, и рекреационная перегрузка становится угрожающей для природы.

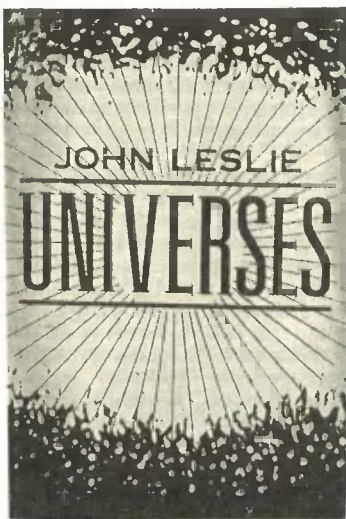
Вместо создания горнолыжных трасс, сопровождающегося массовой вырубкой деревьев, предполагается развивать равнинные лыжи, не требующие таких жертв, закрыть некоторые районы для автомобильного транспорта, ввести налоги на лыжные подъемники, выделить заповедные участки гор. Проект представлен на рассмотрение альпийских стран.

New Scientist. 1989. Vol. 123. № 1681. P. 31 (Великобритания).

# Физическая космология в философской перспективе

Ю. В. Балашов,  
кандидат философских наук  
Москва

**О**ТНОШЕНИЯ между физической и философией в нашем столетии складывались по-разному. Даже если отвлечься от печального отечественного опыта, то и в обстановке интеллектуальной свободы и плюрализма мнений мирный диалог физиков и философов нередко сменялся приступами взаимной нетерпимости и односторонними посягательствами на «пограничную территорию». Достаточно вспомнить нелестные высказывания Р. Фейнмана о «философах за чашкой чая», которые путаются под ногами, «то и дело порываясь сообщить нам что-то». Философы, в свой черед, неоднократно «лишали» физиков права говорить о «первоначалах мироздания», отводя им роль «клизмерителей величин». Отголоски подобных умонастроений до сих пор можно встретить на страницах и физических, и философских изданий. Тем не менее сама наука всегда ставила все (и всех) на место. Очень часто философские рассуждения по поводу тех или иных ее результатов были ненужным довеском к самой науке («философия коагуляции», «философские аспекты гидродинамики», «геологическая форма движения» и пр.) и компрометировали прежде всего философию (плохую). К счастью, новейшая история физики знает и другие примеры, когда потребность в философском анализе органично вызрела в рамках самой науки и лобуждала физиков к философствованию. Так, приход двух фундаментальных физических теорий XX в. — теории относительности и квантовой механики — буквально взорвал каноны классического мышления, заставил переосмыслить на самом глубоком философском уровне

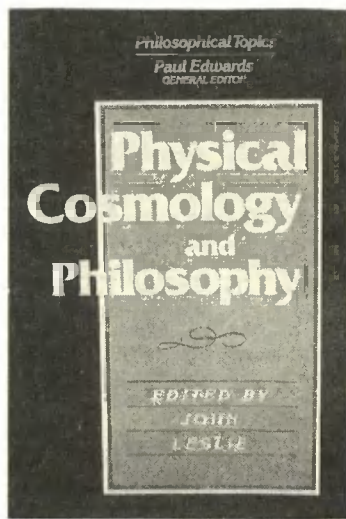


John Leslie. UNIVERSES. London — New York: Routledge, 1989. VII. 228 p.

Джон Лесли. ВСЕЛЕННЫЕ. Лондон — Нью-Йорк: Рутлидж, 1989. VII. 228 с.

принципы человеческого познания.

Надо признать, что физической космологии повезло в этом отношении гораздо меньше. История этой дисциплины не дала ни синтетических умов масштаба Н. Бора, М. Борна или В. Паули, ни, казалось бы, сопоставимых по значимости философских проблем. Возможная причина могла бы состоять в том, что космология как будто не является фундаментальной теорией, в отличие, скажем, от квантовой механики. Это в известном смысле прикладная дисциплина, занятая изучением одного из приложений подлинно фундаментальной общей теории относительности. В этом плане космология немногим должна отличаться от других прикладных дисциплин типа небесной механики или гидродинамики и потому не может породить под-



PHYSICAL COSMOLOGY AND PHILOSOPHY. Edited, with an introduction, and Bibliography by John Leslie. N. Y.: Macmillan Publishing Company; London: Collier Macmillan Publishers, 1990. VIII. 277 p.

ФИЗИЧЕСКАЯ КОСМОЛОГИЯ И ФИЛОСОФИЯ. Под ред., с предисл., комм. и библи. Дж. Лесли. Нью-Йорк: Макмиллан пубблишинг компани; Лондон: Колье Макмиллан пубблишерз, 1990. VIII. 277 с.

линно философских проблем (вообразим себе «философию гидродинамики»!).

Однако это первое впечатление рассеивается при обращении к двум рецензируемым книгам. Автор первой из них — философ, профессор Гельфского университета (Канада) Джон Лесли — выступает в роли редактора второй книги. Если первая книга подводит итог (промежуточный, будем надеяться) собственных исследований Лесли, известных и философам, и (по крайней мере, зарубежным) космологам по множеству статей, в том числе

в физических изданиях, то вторая книга представляет собой интересную попытку представить новейшую историю космологии в философской перспективе. Наряду со статьями, специально написанными для этого сборника (Р. Суинберн, Дж. Гейл) а также перепечатанными из текущих философских изданий (Э. Макмаллин, А. Грюнбаум), здесь воспроизводятся космологические работы прежних лет, концентрированно выражающие целые этапы и важнейшие достижения науки о Вселенной (Г. Гамов, У. Боннор, Г. Бонди, М. Рис, Дж. Нарликар, Дж. Эллис, Р. Дикке, Б. Картер, Б. Карр, Х. Пейджелс, Дж. Уилер, Э. Трион, П. Девис, А. Линде). Уже из списка имен видно, что наряду с животрепещущими вопросами (проблемы квантовой гравитации, инфляция, антропный принцип) в книге представлены некоторые «классические» проблемы космологии 40—50-х годов, во многом уже ставшие историей.

Это прежде всего касается судьбы теории стационарной Вселенной (*steady-state theory*), которая в указанный период активно конкурировала со стандартной космологией Большого взрыва. Эта мало знакомая нашему широкому читателю страница истории науки в высшей степени поучительна в философском отношении. Именно противоборство двух названных космологических теорий впервые заставило — сперва самих космологов, а затем и философов — обратиться к методологическим основаниям науки о Вселенной. В этот самый момент и выступила на поверхность вся архитектура космологического знания (особенно велика здесь заслуга Г. Бонди).

Выяснилось, к примеру, что космология имеет дело с уникальным объектом — Вселенной в целом, которая дана «издана», во выражению А. Пуанкаре) в единственном экземпляре, что делает ее описание и объяснение непохожим на описание обычных локально-физических ситуаций. Действительно, обычная физика имеет дело с бесконечными классами объектов и занимается выявлением общих черт их поведения, фиксируя их в форме законов. Но возможно

ли законосообразное объяснение уникального события, каким является, быть может, космическая эволюция? Далее, как могут складываться отношения между локальными законами природы и той «сценой», на которой они существуют и действуют, — физической Вселенной. Если Вселенная изменяется, и ее прошлое состояние существенно отличается от нынешнего, то чем гарантируется неизменность физических законов, полностью «прописанных» на «территории» этой изменяющейся реальности?

В связи с этим встают, очевидно, и более общие вопросы, например: а что такое вообще закон природы? Вопреки распространенному убеждению, именно эти философские обстоятельства (а вовсе не одни лишь эмпирические причины) послужили главным мотивом создания в 1948 г. Г. Бонди и Т. Гоулдом первого варианта теории стационарной Вселенной, согласно которой Вселенная в среднем однородна в пространстве и неизменна во времени (чем и гарантировалось пространственно-временное единообразие физических законов), несмотря на непрерывное ее расширение. Хотя теория была фактически опровергнута в 1965 г., после открытия реликтового излучения, поднятые ею философские проблемы остались, прежде всего вопрос о происхождении законов природы и их возможной зависимости от физического состояния космоса. Теперь нам предстоит, приняв как несомненный факт эволюцию Вселенной, правильно «погрузить» в эту «стихию времени» всю физику нашего мира, включающую ныне фазовые переходы с нарушением симметрии между взаимодействиями, барионную асимметрию и многие другие интересные события (об этом идет речь в статьях А. Линде, Э. Триона, Дж. Уилера и др.). Примечательно, что некоторые варианты популярных теперь инфляционных сценариев эволюции рассматриваются многими (статья Дж. Нарликара и П. Девиса) как своеобразное возрождение, в глобальном масштабе, концепции стационарной Вселенной.

Значительное место в книге занимает антропный принцип,

привлекающий повышенное внимание физиков, философов, биологов, теологов и даже популярных писателей (Ст. Лем). Наряду с воспроизведением классических статей Р. Дикке и Б. Картера, с которыми связано появление современных антропных аргументов в космологии, мы находим в книге самые разные интерпретации антропного принципа: однозначно негативную (Х. Пейджелс, С. Д. Гоулд), умеренно-прагматичную (Б. Карр, М. Рис), весьма радикальную в духе Беркли — Лейбница (Дж. Уилер), религиозную (Р. Суинберн). Таким образом, приходится констатировать, что выход в 1986 г. внушительной монографии Дж. Барроу и Ф. Типлера<sup>1</sup> не поставил точку в дискуссиях об антропном принципе, а, скорее, переместил их из физической плоскости в более философскую сферу интерпретации.

Несколько слов о книге Дж. Лесли «Вселенные». В ней рассматриваются многие из уже названных вопросов. Но основное внимание концентрируется на антропном принципе, точнее на той дилемме, которую он, по мнению автора (и с этим можно спорить!), ставит перед современным научным сознанием: «ансамбль миров» или «диазайн»? Для того чтобы объяснить чрезвычайно тонкую «подгонку» фундаментальных параметров нашего мира, необходимо для возникновения и устойчивого существования сложных структур, включая «наблюдателей», следует: либо допустить наличие множества вселенных с различными типами устройства, среди которых обязательно найдется «благоприятная» Вселенная, которую мы, в силу антропного принципа, и наблюдаем вокруг себя; либо принять, что в уникальной Вселенной в буквальном смысле имела место «тонкая подгонка».

Рассмотрение первой возможности занимает большую часть книги (отсюда и ее название). Прежде всего автор выясняет, какой смысл может иметь понятие «множества вселенных». Затем весьма квалифицированно анализируются конкретные

<sup>1</sup> Barrow J. D., Tipler F. J. The anthropic cosmological principle. Oxford. 1986.



возможности реализации «ансамбля вселенных», включающие инфляцию, многомировую интерпретацию квантовой механики, механизмы квантового рождения вселенных, осциллирующие космологические модели и др. В то же время все модели «ансамбля вселенных» страдают одним принципиальным недостатком — ненаблюдаемостью «других вселенных», что сильно снижает их статус. Автор склонен поэтому на равных правах рассмотреть и вторую возможность, то есть «теистическую гипотезу». Речь здесь идет об «этической необходимости», в силу которой Космос непременно должен содержать разумную жизнь, единственно способную придать смысл всему физическому существованию. Эта точка зрения гораздо ближе к неоплатонизму, нежели к традиционным религиям, и автор в одном месте недвусмысленно причисляет себя к нео-

платоникам. Это любопытное признание, впрочем, никак не сказывается на характере его философских рассуждений.

Обе книги не лишены, конечно, недостатков. Несовершенство первой обусловлены ее жанром: когда из огромного числа выдающихся научных работ приходится выбирать несколько, неизбежно ощущается субъективизм. Можно лишь пожалеть, что в числе провозвестников инфляционной космологии даже не упомянуты Э. Б. Глинер и А. А. Старобинский, а в числе авторов ранних моделей квантового рождения Вселенной — П. И. Фомин. Вторая книга, слегка перегруженная повторами и длиннотами, несомненно, выиграла бы от их изъятия — при одновременном добавлении хотя бы краткого историко-философского экскурса. Ведь сама идея множества миров возникла не сегодня; она ассоциируется с именами досократиков,

Джордано Бруно, Б. Фонтенеля и других крупных мыслителей прошлого.

Несмотря на эти частные замечания, обе книги представляют несомненный интерес для философов, космологов, и не только для них. Горячо рекомендуя издать эти книги на русском языке, я хотел бы обратить внимание, что жанр сборника «классических» статей на популярную научную тему становится за рубежом все более распространенным<sup>2</sup>. Возможно, и нам следует уделять ему больше внимания, особенно в контексте проблем науки о Вселенной, всегда встречающих устойчивый читательский интерес. Кстати, «Природа» могла бы поставлять для таких сборников богатейший материал.

<sup>2</sup> См. напр.: *Cosmological constants; papers in modern cosmology* / Ed. J. Bernstein. N. Y., 1986; *The new physics* / Ed. P. Davies. Cambridge, 1989.

## НОВЫЕ КНИГИ

### Охрана природы

ОПТИМИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ОХРАНЫ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ / Отв. ред. В. П. Цемко. Киев: Наукова думка, 1989. 292 с. Ц. 4 р. 50 к.

Книга написана большим коллективом ученых-почвоведов Украины и, несмотря на скучное название, читается с захватывающим интересом. Она отражает новое экологическое мышление в сельском хозяйстве, которое идет на смену сиюминутному технократическому оптимизму. Критической оценка состояния украинской пашни производит должное впечатление: при росте в последние 20 лет фондовооруженности хозяйства в 3 раза, а количества удобрений в 2,5 урожайность культур падает. Скорость эрозии в 60 раз превышает скорость почвообразования. Деградикация почв идет, кроме того, под влиянием орошения,

осушения, техногенных загрязнений. Огромные площади теряются в результате горных работ, строительства предприятий и т. д. Новый миллион гектаров ущербной пашни формируется ныне всего за три года. Этот процесс ускоряется. Только «успехам мелиораторов» Украина к 2000 г. будет обязана утратой еще 3 млн га из-за переосушения, переобводнения или засоления. Авторы бьют в набат экологической тревоги и предлагают меры по спасению республики от надвигающейся катастрофы.

Главное при этом — оптимизация структуры агроландшафтов, срочный засев всех склоновых и других эрозионно опасных земель многолетними травами и лесомелиорация. Сегодня в степной части Украины лес занимает около 2%. В. В. Докучаев говорил, что для сохранения черноземов нужно 20%. Авторы считают реальной

величиной на ближайшую перспективу 10%. Предлагают создать лесополосы, рассадив леса в оврагах и балках. Они приводят интересную таблицу сравнения последствий орошения (причем правильного!) и облесения. Через 20 лет урожай на облесенной территории окажется выше, чем на орошаемой, при этом сохранятся почвы, а главное, затраты будут вдвое меньше. Общая площадь пашни, по их мнению, не должна превышать 50%.

Авторы ратуют за минимальную обработку почвы ради ее восстановления, предлагают рациональные способы удобрения, указывают возможности резкого снижения вреда от пестицидов.

В книге нет панических настроений, но она заставит задуматься многих из тех, от кого зависит судьба нашей земли и, стало быть, грядущих поколений.

## "У них был кружок мистических поэтов..."

В. П. Волков,

доктор геолого-минералогических наук  
Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского  
Москва

**О**СНОВАННАЯ и руководимая В. И. Вернадским Биогеохимическая лаборатория в 1936—1938 гг. насчитывала чуть более 20 научных сотрудников. Четверо были репрессированы, и только одному из них, А. М. Симорину<sup>1</sup>, довелось выйти живым из ГУЛАГа. В. А. Зильберминц<sup>2</sup>, Б. К. Бруновский и А. А. Кирсанов погибли в первый же год. Негласный запрет на упоминание этих имен не мог перечеркнуть того, что было сделано в науке выдающимися и хорошо известными в профессиональных кругах геохимиками Бруновским и Зильберминцем. Да и запрет этот отважно нарушался. Так, академик Н. В. Белов, приступая к чтению курса кристаллографии, всегда считал своим долгом отметить работы Бруновского... Иначе обстоит дело с Кирсановым. Он был арестован в 26 лет, не успев состояться как ученый, и его трагическая судьба, прекрасный юношеский облик ранят душу по-особому — своей вопиющей незавершенностью.

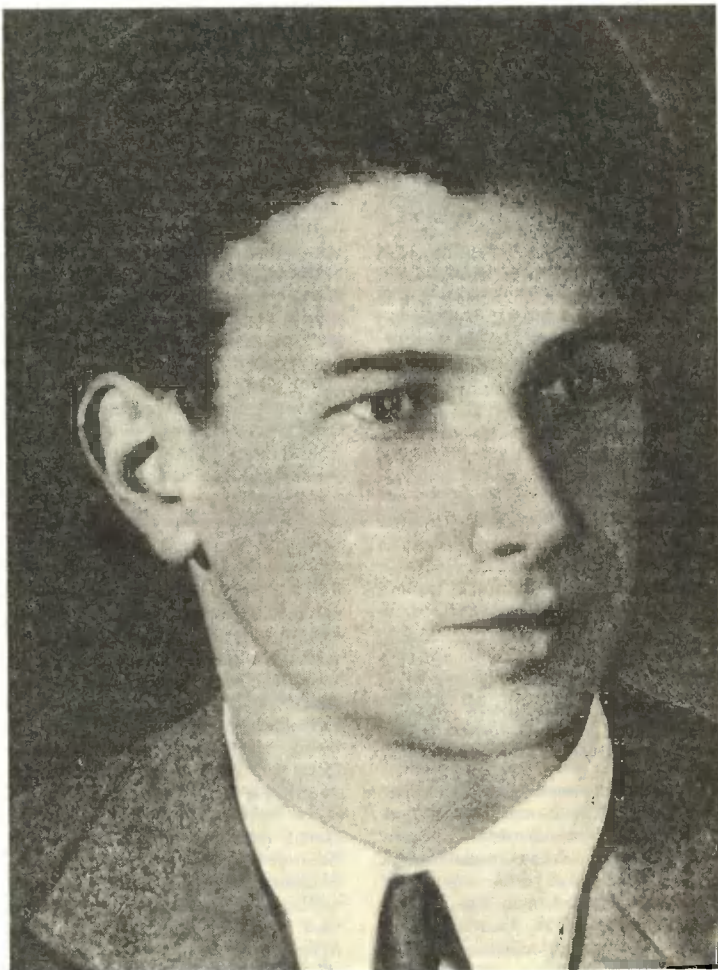
Анатолий Александрович Кирсанов работал в Лаборатории всего 13 месяцев и лишь за неделю до ареста стал научным сотрудником I разряда. Его научное наследие исчерпывается небольшой публикацией в журнале «Природа» (№ 5 за 1936 г.) «О золоте в организмах», которая напоминает введение к монографии — обзору по биогеохимии золота.

Рукописи еще двух статей, не успевших выйти до ареста автора, канули в неизвестность.

© Волков В. П. «У них был кружок мистических поэтов...»

<sup>1</sup> Коротков а Е. М. «Я был, есть и буду его учеником» // Природа. 1990. № 6. С. 124—128.

<sup>2</sup> Волков а В. П. «Родина еще сумеет отблагодарить Вас...» // Природа. 1988. № 11. С. 48.



Анатолий Александрович Кирсанов (1910—1937).

Все остальное было изъято при обыске квартиры.

Сохранились автобиография Кирсанова<sup>3</sup> и еще один малозначительный, но любопытный

документ эпохи — записка о результатах «стахановской декады»<sup>4</sup>. Каждый сотрудник Лаборатории брал обязательство «ударно работать» 10 дней, а потом письменно отчитывался. Рукописью Кирсанова написано: «1) изготовлен реактив на золото; 2) проработана статья Кожев-

<sup>3</sup> Архив АН СССР. Ф. 411. Оп. 6. № 1494. Л. 1—2.

<sup>4</sup> Архив ГЕОХИ АН СССР.



никова о методах аналитической химии золота». Есть и резолюция: «Мало сделано. А. П. Виноградов».

Вскоре после ареста сестра Кирсанова передала ему «Очерки геохимии» В. И. Вернадского и «Геохимию» А. Е. Ферсмана, а еще через полгода передачу уже не приняла. Приговор состоялся: 10 лет дальних лагерей без права переписки. В те времена страшный смысл этой формулы был неизвестен. В 1960 г. на запрос родных о судьбе Кирсанова пришел ответ в форме справки о посмертной реабилитации. Дата смерти по документу ЗАГСа — 21 июля 1937 г., причина смерти — прочерк.

Анатолий был сыном известного русского агрохимика и почвовода Александра Трофимовича Кирсанова (1880—1941). Казалось, ему была уготована благополучная судьба. Отец сумел в разгар гражданской войны дать ему отличное образование дома в Гродно. Потом в Минске 14-летний мальчик прослушал курс математики и химии в сельскохозяйственном институте. Дальше опять счастливый билет: Кирсанов-старший командирован в Германию, и сын получает возможность окончить Берлинский политехнический ин-

ститут по специальности «физическая химия».

Возвращение на родину в 1933 г. прошло не столь уж радостно: молодая жена Анатолия наотрез отказалась следовать за ним в Советскую Россию... За короткий срок в Ленинграде под руководством профессора С. А. Щукарева Кирсановым было выполнено интересное исследование по химии золота в природных водах, а в Москве, куда его большая семья переезжает в 1934 г., молодому ученому предстояло начать работать под руководством знаменитого Вернадского.

Среди учеников и сотрудников Вернадского едва ли не самым ярким оказался 37-летний Александр Михайлович Симорин, восторженный его поклонник, автор интересных изысканий по разгадке причин эндемии зоба в Забайкалье. Симорин страстно увлекался поэзией, его кумир — Максимилиан Волошин, стихи которого в то время еще не запрещены, но уже не издаются.

Интерес к поэзии сблизил Симорина, Кирсанова и еще одного юношу, Николая Лебедева, которого Кирсанов, скорее всего, знал с детства. По возрасту они, вероятно, были одногодками, а отец Николая, профессор Александр Федорович Лебедев (1882—1936) — блестящий представитель докучаевской школы русских почвоведов — был дру-

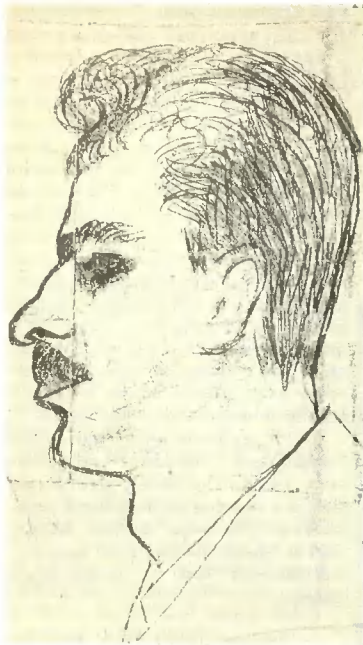
гом профессора А. Т. Кирсанова. В 1931 г. старшего Лебедева арестовали и отправили строить коммунизм на Беломорканал и канал Москва—Волга, а вслед за этим, по известному сталинскому принципу «сын за отца не отвечает», его участь разделил и Лебедев-младший, 20-летний студент почвенно-географического факультета Московского университета. Искупив свою вину, социально вредный профессор через пять лет вышел на свободу, где вскоре умер. Был освобожден и даже восстановлен на почвенно-географическом факультете и его страстно влюбленный в поэзию сын.

У друзей Николая Александровича Лебедева сохранилось несколько его стихотворений, а в архиве Волошина в Коктебеле — письмо вдове поэта, слегка приоткрывающее нам его внутренний мир и жизненные планы:

12.VI.1936, Москва  
Дорогая Мария Степановна!  
Это письмо Вам передаст мой друг Юрий Ефремов, студент Моск[овского] ун[иверсите]та, почитатель М. А. [Волошина] и А. Белого. Я буду Вам очень обязан, ежели Вы задержите его у себя на несколько дней (<...> покажите ему все, что связано с М. А. и расскажите ему о нем. Это будет очень важно и для него и для меня (<...>). Самое же главное — берите себя в ру-

А. А. Кирсанов с женой перед отъездом из Берлина.





Николай Александрович Лебедев [1910 (?)—?]. Зарисовка студента-сокурсника в тетради для лекций по диамату. Конец 1935 или начало 1936 г.

ки, организуйте свое время, перепечатывайте письма М. А. и его рукописи. Вы сами понимаете, как это необходимо важно. Делайте так, как я Вам писал — 4 экземпляра, минимум — 3.

У нас здесь дым коромыслом от деятельности Комитета по делам искусств. Воздвигается организованное гонение на всех левых художников. Нереалисты изгоняются из Третьяковской галереи. Я подаю заявление в историко-философский институт с небольшой надеждой на успех (...).

Всегда Ваш Коля.

Лебедев, Кирсанов и Симорин были арестованы октябрьской ночью 1936 г. Дата ареста (11 октября), приведенная в справке о реабилитации Кирсанова, — ложная, потому что его автобиография, находящаяся в архиве, подписана 19 октября, а одно из стихотворений Лебедева, сохраненное известным географом и поэтом Ю. К. Ефремовым, датировано 27 октября.

Родные и близкие Лебедева не дождалась XX съезда, некому было обратиться с ходатайством о его реабилитации, и мы не знаем времени и обстоятельств его гибели.

Вернадский никогда не забывал о людях, вырванных из жизни в те страшные времена. В дневниковой тетрадке, заполненной записями последних двух месяцев его жизни, находим и такую:

7 ноября, 1944

«Получил вчера телеграмму от А. Симорина<sup>5</sup>. Он работает науч-

но (...). У них был кружок мистических поэтов. Был еще арестован два молодых сотрудника, и оба не вынесли условий жизни — умерли. Оба поэты — один сын почвовед (гидролога) Лебедева (...) Погиб и его приятель и тоже поэт Кирсанов. Его отец химик-органик. Гангрена беспощадная, по существу аморальна (цель оправдывает средства), дает временные выгоды — но в конце концов может разрушить все. Многих арестовывали. Сейчас Берия лучше Ежова, но в конце концов его «работа» отрицательная — гангрена. Множество людей, и не забывается (...). Я думаю, что будущее моей внучки безопасно в США»<sup>6</sup>.

Образ гангрены страшным символом проходит по страницам дневников Вернадского начиная с середины 30-х годов и всегда соседствует с вызванными из прошлого тенями учеников и друзей, казненных или исчезнувших в лабиринтах ГУЛАГа. Наверное, младшим из них был юный Кирсанов.

<sup>5</sup> В 1943 г., после шестилетнего заключения, Симорин был переведен на свободное поселение. Организовал при магаданской больнице химическую лабораторию, где работал по тематике, близкой к тематике Биогел.

<sup>6</sup> Вернадский В. И. Дневниковые записи 1944 г. // ААН СССР. Ф. 518. Оп. 2. Ед. хр. 24. Л. 3.

Научные редакторы:  
И. Н. АРУТЮНЯН  
О. О. АСТАХОВА  
Л. П. БЕЛЯНОВА  
М. Ю. ЗУБРЕВА  
Г. В. КОРОТКЕВИЧ  
Л. Д. МАЙОРОВА  
Н. Д. МОРОЗОВА  
Е. М. ПУШКИНА  
Н. В. УСПЕНСКАЯ

Литературный редактор  
Г. В. ЧУБА

Художник  
П. П. ЕФРЕМОВ

Художественные редакторы:  
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Заведующая редакцией  
О. В. ВОЛОШИНА

Корректоры:  
Р. С. ШАЙМАРДАНОВА,  
Т. Е. ДЖАЛАЛЯНЦ

В художественном оформлении  
номера принимали участие:  
Н. Х. БУТЫРИНА  
О. Н. ЗОТОВА  
Б. А. КУВШИНОВ  
Ю. В. ТИМОФЕЕВ

Ордена Трудового Красного  
Знамени издательство «Наука»  
Адрес редакции:

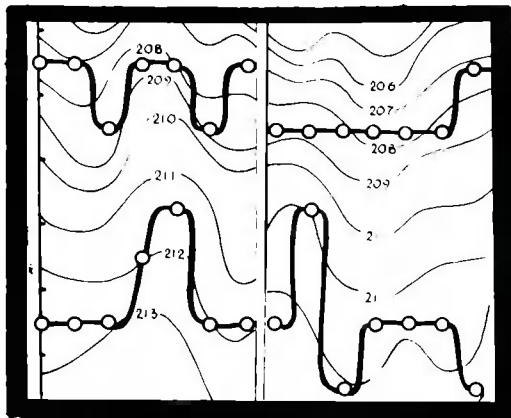
117049, Москва, ГСП-1,  
Мароновский пер., 26  
Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 28.08.90  
Подписано в печать 5.10.90  
Формат 70×100 1/16  
Бумага офсетная, № 1  
Офсетная печать  
Усл. печ. л. 10,32  
Усл. кр.-отт. 1561,1 тыс.  
Уч.-изд. л. 15,0  
Тираж 58 313  
Зак. 1790  
Цена 80 к.

Ордена Трудового  
Красного Знамени  
Чеховский полиграфический  
комбинат  
Государственного комитета СССР  
по печати  
142300, г. Чехов  
Московской области

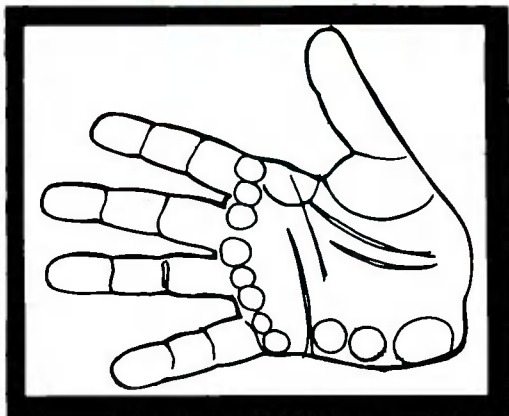
# ПРИРОДА

# 12<sup>90</sup>



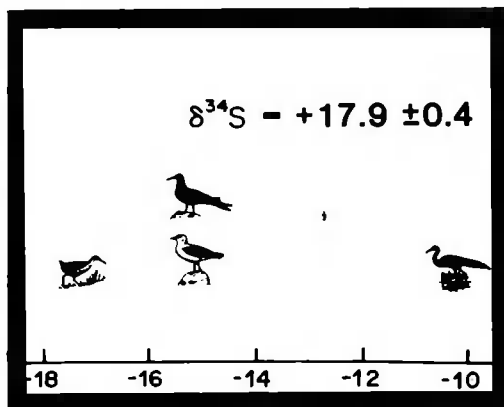
Опасность для моря представляет не подъем на поверхность сероводородных вод, невозможный при современных гидрологических условиях, а экологически неграмотный проект откачки излишков сероводорода из глубин, предлагаемый для «спасения» моря.

**Айзатулин Т. А., Фащук Д. Я. ЧЕРНОЕ МОРЕ: КАТАСТРОФЫ МНИМЫЕ И ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫЕ.**



Современный антропогенетик, как древний хиромант, может предугадать судьбу человека — его болезнь и смерть или здоровье и долголетие.

**Бердышев Г. Д., Загария А. М. ДЕРМАТОГЛИФИКА И ДОЛГОЛЕТИЕ.**



Метод стабильных изотопов, хорошо известный геологам и геохимикам, в последние годы стали использовать в совершенно новой области — для изучения пищевых цепей и живых организмов.

**Кроуз Р. СТАБИЛЬНЫЕ ИЗОТОПЫ И ЖИВЫЕ СУЩЕСТВА.**

Создание лазеров, способных генерировать очень короткие и мощные импульсы, дает реальные возможности расширить пределы наших представлений о поведении вещества в экстремальных условиях.

**Гамалий Е. Г., Драгила Р., Тихончук В. Т. ВЕЩЕСТВО В СВЕРХСИЛЬНОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ.**

Переход к свободному рынку ставит перед нашей наукой ряд проблем, решить которые она пока не готова: где и как добывать деньги, как сделать действенной систему экспертных оценок, можно ли говорить о хозрасчете в науке, особенно фундаментальной. Опыт, накопленный развитыми странами, в первую очередь США, может быть весьма полезен.

**НАУКА И РЫНОЧНАЯ ЭКОНОМИКА.**

**Вольфсон С. А. КАК НАУКЕ ЗАРАБАТЫВАТЬ ДЕНЬГИ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕСТРОЙКИ. Брагинский В. Б., Торн К. С. «У НАС ДЕЙСТВУЕТ ЖЕСТКИЙ КОНТРОЛЬ ЗА РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ СРЕДСТВ НА НАУКУ».**



