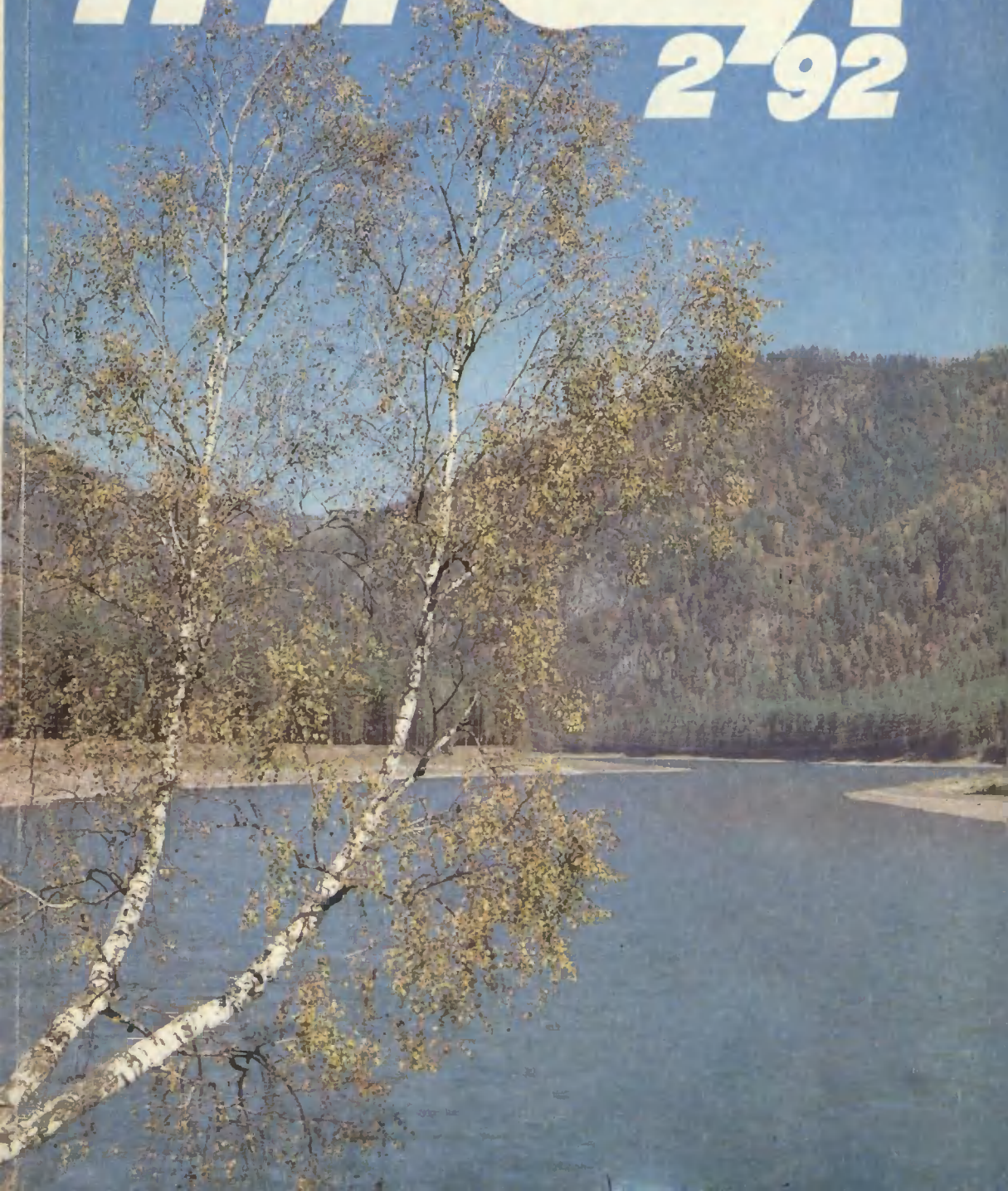


ISSN 0032-874X

ПРИРОДА

2-92



Главный редактор академик Л. Д. ФАДДЕЕВ
Заместитель главного редактора Ю. Н. ЕЛДЫШЕВ

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Академик В. Л. БАРСУКОВ (геохимия, планетология), академик АМН А. И. ВОРОБЬЕВ (медицина), доктор биологических наук Н. Н. ВОРОНЦОВ (биология, охрана природы), доктор геолого-минералогических наук Г. А. ГАБРИЭЛЯНЦ (геология), академик Г. П. ГЕОРГИЕВ (молекулярная биология), член-корреспондент РАН С. С. ГЕРШТЕЙН (физика), академик Г. С. ГОЛИЦЫН (физика атмосферы), академик И. С. ГРАМБЕРГ (океанология), академик В. А. ЖАРИКОВ (геология), член-корреспондент РАН Г. А. ЗАВАРЗИН (микробиология, экология), член-корреспондент АПН В. П. ЗИНЧЕНКО (психология), академик В. Т. ИВАНОВ (биоорганическая химия), академик В. А. КАБАНОВ (общая и техническая химия), доктор физико-математических наук С. П. КАПИЦА (физика), член-корреспондент РАН Н. С. КАРДАШЕВ (астрофизика, космические исследования), академик Н. П. ЛАВЕРОВ (геология), член-корреспондент РАН В. А. СИДОРЕНКО (энергетика), академик В. Е. СОКОЛОВ (зоология), член-корреспондент РАН В. С. СТЕПИН (философия естествознания), член-корреспондент РАН В. Н. СТРАХОВ (геофизика), член-корреспондент РАН Л. П. ФЕОКТИСТОВ (физика).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

И. Н. АРУТЮНЯН (редактор отдела физико-математических наук), О. О. АСТАХОВА (редактор отдела биологии и медицины), кандидат химических наук Л. П. БЕЛЯНОВА (редактор отдела экологии и химии), член-корреспондент РАН Н. А. БОГДАНОВ (геология), член-корреспондент РАН В. Б. БРАГИНСКИЙ (физика), член-корреспондент РАН А. Л. БЫЗОВ (физиология), доктор географических наук А. А. ВЕЛИЧКО (палеогеография), доктор физико-математических наук Л. П. ВИННИК (геофизика), доктор географических наук Н. Ф. ГЛАЗОВСКИЙ (география), доктор физико-математических наук А. А. ГУРШТЕЙН (астрономия, история науки), член-корреспондент РАН Г. В. ДОБРОВОЛЬСКИЙ (почвоведение), член-корреспондент РАН Л. П. ЗОНЕНШАЙН (геотектоника), М. Ю. ЗУБРЕВА (редактор отдела географии и океанологии), член-корреспондент РАН С. Г. ИНГЕВЕЧТОМОВ (генетика), доктор физико-математических наук М. И. КАГАНОВ (физика), доктор физико-математических наук Н. П. КАЛАШНИКОВ (физика), доктор физико-математических наук А. А. КОМАР (физика), Л. Д. МАЙОРОВА (редактор отдела геологии, геофизики и геохимии), доктор биологических наук Б. М. МЕДНИКОВ (биология), Н. Д. МОРОЗОВА (редактор отдела научной информации), доктор технических наук Д. А. ПОСПЕЛОВ (информатика), член-корреспондент РАН И. Д. РЯБЧИКОВ (геология), доктор философских наук Ю. В. САЧКОВА (философия естествознания), доктор биологических наук А. К. СКВОРЦОВ (ботаника), Н. В. УСПЕНСКАЯ (редактор отдела философии, истории естествознания и публицистики), доктор биологических наук М. А. ФЕДОНКИН (палеонтология), доктор физико-математических наук А. М. ЧЕРЕПАШУК (астрономия, астрофизика), член-корреспондент РАН В. Д. ШАФРАНОВ (физика), доктор биологических наук С. Э. ШНОЛЬ (биология, биофизика), доктор геолого-минералогических наук А. А. ЯРОШЕВСКИЙ (геохимия).

НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Катунь — одна из красивейших рек Сибири. См. в номере: Дьяконов К. Н. Незаконченная история проектирования Катунской ГЭС (записки эксперта-эколога).

Фото С. С. Давыдова

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Звезда и еж — представители исключительно морского типа (иглокожих) и двусторчатый моллюск, относящийся к амфибустральному типу животных. См. в номере: Цалопихин С. Я. Жизнь в пресных водах: происхождение и развитие.



— 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» 1992

В НОМЕРЕ

3 Гилларов А. М. МИФОЛОГИЧЕСКОЕ В ЭКОЛОГИИ

Будучи древнейшей формой описания и упорядочения действительности, миф продолжает сохранять непреходящую силу. В своих научных исканиях мы должны стараться идти дальше мифа, но вряд ли стоит с ним «бороться».

11 Орлов В. В. НА ПУТИ КО «ВТОРОЙ ЯДЕРНОЙ ЭРЕ»

Использование ядерной энергии — наиболее реалистичный путь решения топливно-энергетических проблем будущего, но при условии, что «большая» ядерная энергетика будет базироваться на принципе внутренне присущей безопасности, исключая тяжелые радиационные аварии.

21 Короткевич Г. В. ВОЗРОЖДАЕТСЯ АРХЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО РОССИИ

22 Потаев Е. И. СВЕРХИЗМЕНЧИВАЯ ДНК

Данные о неравномерной частоте мутаций в отдельных частях ДНК существенно меняют представления об изменчивости генома, а обнаруженная гипервариабельность «молекулы жизни» открывает широкие возможности для практики индивидуального определения генотипов живых организмов.

ГЛОБАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

31 Оксенгендлер Г. И. ХИМИЧЕСКИЕ АВАРИИ

Многолетний мировой опыт показывает, что для предупреждения аварийных ситуаций необходимо повышение надежности эксплуатации всех видов производств, запасов прочности производственных линий и транспорта, а также создание страховочных систем.

ИЗ ХРОНИКИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ БЕДСТВИЙ В 1991 г. (40)

42 Дьяконов К. Н. НЕЗАКОНЧЕННАЯ ИСТОРИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КАТУНСКОЙ ГЭС (заметки эксперта-эколога)

Казалось бы, пятилетняя «битва» сторонников и противников строительства крупной ГЭС на одной из красивейших рек Сибири закончилась поражением технократов. Однако и сегодня существуют планы «косметический» доработать проект и пустить его в ход.

ВЕСТИ ИЗ ЭКСПЕДИЦИЙ

53 Журавлев А. П. ОТКРЫТИЯ В ПЕГРЕМЕ

54 Вильямс-Торп О., Торп Р. С. СТОУНХЕНДЖСКИЕ ГОЛУБЫЕ КАМНИ

Недавние исследования британских специалистов проливают свет на происхождение одного из компонентов всемирно известного доисторического памятника, расположенного на юго-западе Англии.

58 Шиняев А. Я. ОКСИДНАЯ КЕРАМИКА И НОВЫЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Все новые свойства открывают конструкционные материалы. Развитие технологий предоставляет уникальные возможности получения оксидных керамик и применения их в самых разных областях.

66 Цалолыхин С. Я. ЖИЗНЬ В ПРЕСНЫХ ВОДАХ: ПРОИСХОЖДЕНИЕ И РАЗВИТИЕ

Таксономический анализ фауны подтверждает вывод, что сначала были заселены моря, а переход живых организмов в пресные воды осуществлялся экосистемно.

74 Иванков В. Н. УНИКАЛЬНАЯ ИЗОЛЯЦИЯ

76 Шумкин В. Я. НОВЫЕ НАСКАЛЬНЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ЛАПЛАНДИИ

81 Бабаев Н. С., Никипелов Б. В., Романов Г. Н., Фетисов В. И., Холина Ю. Б. МЕЖДУНАРОДНЫЙ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР

84 МАСТЕР

Он был уникален в своем научном творчестве — от физики горения и взрыва, через ядерное оружие до самых глубин астрофизики и космологии. В науке это был Мастер — Яков Борисович Зельдович. Воспоминаниями о нем делятся друзья, коллеги, ученики.

Сена Л. А. КАК БЫЛ «ОТКРЫТ» ЗЕЛЬДОВИЧ (85)

Феоктистов Л. П. ПРИРОЖДЕННЫЙ ЛИДЕР (87)

Смирнов Ю. Н. РЫЦАРЬ НАУКИ (90)

Герштейн С. С. НА ПУТИ К УНИВЕР- САЛЬНОМУ СЛАБОМУ ВЗАИМОДЕЙ- СТВИЮ (97)

Арнольд В. И. ЯБ И МАТЕМАТИКА (105)

Долгов А. Д. ДЕСЯТЬ ЛЕТ ОБЩЕНИЯ (108)

112 НОВОСТИ НАУКИ

123 КОРОТКО

124 РЕЦЕНЗИИ

125 НОВЫЕ КНИГИ

ВСТРЕЧИ С ЗАБЫТЫМ

126 Горелик Г. Е. СУБЪЯДЕРНАЯ ФИЗИКА, М. П. БРОНШТЕЙН И Э. МАЙОРАНА

РЕКЛАМА, ОБЪЯВЛЕНИЯ (75)

CONTENTS

3 Gilyarov A. M. MYTHS AND ECOLOGY

The myth is the earliest form of describing reality; as such it remains as valid as ever. Our science should outstrip rather than "wipe out" this form of human creativity.

11 Orlov V. V. TOWARDS THE "SECOND NUCLEAR AGE"

The use of nuclear energy is the most promising and realistic way of solving the problems of power production in future in case nuclear power engineering of big scale is based on the principle of inherent safety which would prevent any major catastrophe.

22 Rogaev E. I. SUPERCHANGEABLE DNA

The recently obtained information on the frequency of mutations in DNA's separate parts has radically changed our ideas about the genome changeability while the hyper-variability of the "life molecule" has opened new vistas for determining the genotypes of living organisms individually.

GLOBAL PROBLEMS

31 Oksengendler G. I. CHEMICAL CATASTROPHES

Many years of experience throughout the world have demonstrated that to prevent catastrophes we need safer transportation means and production lines and safety systems.

FROM THE CHRONICLES OF 1991 ECOLOGICAL DISASTERS (40)

42 Dyakonov K. N. THE UNFINISHED STORY OF THE KATUN HPS (notes by an ecologist)

It seems that the technocrats lost the five-year battle for a hydropower station on one of the most beautiful of the Siberian rivers. Yet there are attempts to revive the project.

NEWS FROM THE EXPERIMENT

53 Zhuravlev A. P. DISCOVERIES IN PEGREM

54 Williams-Thorpe O., Thorpe R. S. BLUE STONES FROM STONEHEDGE

The recent research by British specialists shed new light on the origins of one of the components of the world-famous prehistoric complex.

58 Shinyayev A. Ya. OXIDIZED CERAMICS AND NEW HIGH-TEMPERATURE STRUCTURAL MATERIALS

As technology develops structural materials are acquiring ever new properties; there are new and unique possibilities for obtaining oxidized ceramics.

66 Tsololikhin S. Ya. LIFE IN FRESH WATER: ORIGINS AND DEVELOPMENT

A taxonomic analysis of the fauna testifies that life first appeared in the seas; it was ecosystems that populated the fresh waters.

74 Ivankov V. N. UNIQUE ISOLATION

81 Babaev N. S., Nikipelov B. V., Romanov G. N., Fetisov V. I. Kholina Yu. B. INTERNATIONAL RADIOECOLOGICAL CENTRE

84 THE MASTER

He was totally unique in everything that he did in science—from the physic of combustion and explosion through the nuclear weapons to astrophysics and cosmology. Yakov Zel'dovich was a real master in science. Here are the reminiscences of his friends and colleagues.

Sena L. A. HOW ZELDOVICH WAS "DISCOVERED" (85)

Feoktistov L. P. HE WAS BORN A LEADER (87)

Smirnov Yu. N. THE KNIGHT OF SCIENCE (90)

Gerstein S. S. TOWARDS UNIVERSAL WEAK INTERACTION (97)

Arnold V. I. ZEL'DOVICH AND MATHEMATICS (105)

Dolgov A. D. TEN YEARS BY ZEL'DOVICH (108)

112 SCIENCE NEWS

123 NEWS IN BRIEF

124 BOOK REVIEWS

125 NEW BOOKS

MEETING THE FORGOTTEN PAST

126 Gorelik G. E. SUBNUCLEAR PHYSICS, M. P. BRONSTEIN AND E. MAJORANA

ADVERTISEMENTS, ANNOUNCEMENTS (75)

Мифологическое в экологии

А. М. Гиляров



Алексей Меркурьевич Гиляров, доктор биологических наук, профессор биологического факультета Московского государственного университета. Область научных интересов — гидробиология, общая экология, история науки. Автор учебника «Популяционная экология». В «Природе» опубликовал статьи: Методологические проблемы современной экологии: смена ведущих концепций (1981, № 9). Отношения «хищник — жертва» в зоопланктонном сообществе (1982, № 11).

НАВЕРНОЕ, для большинства людей слова «миф» и «мифология» ассоциируются прежде всего с некоторым набором сюжетов, хорошо знакомых с детства, воспринимаемых сначала как своеобразные сказки, но при более пристальном рассмотрении оказывающихся явно чем-то большим. Эти сюжеты существуют не сами по себе, а образуют определенные системы, как бы моделирующие возникновение и устройство окружающего нас мира. Поскольку мифологические мотивы несметное число раз находили свое отражение в произведениях литературы и искусства, не вызывает удивления то, что гуманитарные науки уже на протяжении по крайней мере нескольких веков чрезвычайно интенсивно разрабатывают представление о мифах и мифологическом¹.

Удивляет плодотворность этих разработок. Понятие мифа оказалось поистине неисчерпаемым, а постижение его философской и культурологической мысли позволяло (и позволяет) находить все новые ракурсы рассмотрения и переосмысления того, что давно считалось твердо установленным и осмысленным.

Связь мифологии с естественными науками кажется менее очевидной (во всяком случае, в школьных учебниках мы не читали, что наука «борется» с мифами и, конечно же, всегда успешно показывает их «несостоятельность»), но это впечатление крайне поверхностно. На самом деле, уже хотя бы в силу того, что мифология играла важнейшую роль в формировании мировоззрения наших далеких предков, она не могла не влиять и на развитие всей философской и собственно научной мысли. Скорее всего, не случайно и то, что именно на почве мифа (или с его помощью) не раз происходило сближение гуманитарных наук и естественных. Достаточно сослаться на попытку К. Леви-Стросса с помощью структуралистского подхода найти общность в закономерностях трансформации мифов, с одной стороны, и организмов² — с другой. Плодотворность использования понятий, связанных с мифом, заставляет думать, что стойкость всего «мифологического» объясняется не только и, может быть, даже не столько прямой исторической преемственностью науки, берущей начало из пронизанной мифологией культуры, сколько структурой человеческого сознания, глубинным уровнем которого миф и образ мира, явленный через миф, неизмеримо ближе, чем так называемое научное мировоззрение.

Если, пользуясь метким выражением Ю. М. Лотмана и Б. А. Успенского, определить культуру как «ненаследственную память коллектива», то науку, безусловно, можно рассматривать как ее часть, или, точнее, —

¹ См., например, библиографию к статье А. Ф. Лосева «Мифология»: Философская энциклопедия. М., 1964. Т. 3. С. 457—467.

² Иванов В. В. Клод Леви-Стросс и структурная антропология // Природа. 1978. № 1. С. 77—89; Леви-Стросс К. Миф, ритуал и генетика // Там же. С. 90—106.

³ Лотман Ю. М., Успенский Б. А. // Труды по знаковым системам. Учен. зап. Тартуского ун-та. 1971. Вып. 284. С. 144—166.

подсистему, обладающую некоторой автономией. Но, рассматривая науку в контексте культуры, мы не должны забывать, что, несмотря на свой почтенный возраст, во временных масштабах цивилизации наука возникла не так давно, а ее заметное влияние на общество — это уже достижение последних полутора столетий. К тому же не склонны ли мы преувеличивать значение науки для восприятия мира? Ведь подавляющим большинством людей результаты науки воспринимаются опосредованно, через внедренные технологии. Иными словами, наука представляется скорее средством овладения миром, чем способом его понимания⁴.

И все-таки мы привыкли думать, что научное знание каких-то аспектов мира возможно. Имеет ли какое-нибудь отношение сам акт научного понимания к тем компонентам нашего сознания, которые отвечают за «мифическое», т. е. связаны с порождением и восприятием мифов? Скорее всего, на этот вопрос можно ответить утвердительно, и тому есть ряд косвенных свидетельств.

ЛОГОС И ЭЙДОС

В дальнейших рассуждениях мы обратимся к идее М. К. Мамардашвили, предложившего различать «науку как культуру» и «науку как познание». Наука как культура — это то, что уже достигнуто исследователями и выражено в форме законов, теорий, гипотез, сводок, учебников и т. д. Иначе говоря, это то, что может быть воспроизведено во времени и пространстве и, соответственно, передано другим. Наука как культура носит ярко выраженный нормативный характер. Когда мы говорим о науке как познании, то имеем в виду уже нечто совсем другое, а именно сам процесс получения действительно нового знания. Этот всегда живой, актуальный элемент науки характеризуется, по мнению Мамардашвили, «двумя колебательными движениями: колебанием в сторону разрушения нормативных структур, выходу к определенному деструктурному «нулевому» состоянию знания и, наоборот, обратным движением от хаотического, почти «нулевого состояния» в сторону новой возможной структуры». Познание при этом «есть в каждый данный момент, в каждом данном исследователе занятие чем-то, что не думалось и не делалось раньше в этом мире, независимо от всего остального мира знаний...»⁵.

В приведенных цитатах для нас важна мысль о разрушении существовавших нормативных структур в процессе познания, о выходе на «деструктурный» уровень и достижении «независимости от остального мира знаний». Ведь для каждого исследователя выход на деструктурный уровень есть спуск в подвалы собственного сознания, переключение с поверхностного логически структурированного мышления на интуитивное углубление. Фактически получается, что добытие принципиально нового знания связано с отказом от знания, добытого ранее (ставшего «культурой»), с обязательным переходом от дискурсивного к интуитивному и, что для нас особенно важно, с возвращением к более архаическим элементам сознания, для которых мифы — что-то очень родное и близкое.

В своей замечательной книге «Диалектика мифа» А. Ф. Лосев писал, что «если брать науку, реально творимую живыми людьми в определенную историческую эпоху, то такая наука решительно всегда не только сопровождается мифологией, но и реально питается ею, черпывая из нее свои исходные интуиции»⁶. К сожалению, исследователи, занимающиеся историей и методологией естественных наук, обычно игнорируют элементы мифологического в нашем сознании, хотя порой элементы эти настолько явны (например, в даваемой современной физикой картине возникновения и эволюции Вселенной), что не замечать их просто нельзя. Думается, что самая общая причина такого положения — господство в науке последних столетий физикалистических настроений, переоценка дискурсивного начала при недооценке интуитивного, или, иначе, доминирование «логоса» над «эйдосом».

О борьбе логоса с мифом недавно хорошо написал К. А. Свасьян: «...логос, рожденный из стихии мифа, веками укрощал миф в неистовых метафизических измышлениях ... но поистине роковым обстоятельством оказалось то, что, борясь с мифом, логос преследовал цель, не понимания его, а изгнания»⁷. Изгнанный же миф «жестоко мстит за себя, принимая форму самого познания»⁸. В 20-х годах это убедительно показал немецкий философ Э. Кассирер на примере возникновения позитивизма, стремя-

⁴См., например: Налимов В. В. Спонтанность сознания. М., 1989.

⁵Мамардашвили М. К. // Методологические проблемы историко-научных исследований. М., 1982. С. 38—58.

⁶Лосев А. Ф. Диалектика мифа // Из ранних произведений. М., 1990. С. 393—533.

⁷Свасьян К. А. Феноменологическое познание: пропедевтика и критика. Ереван, 1987. С. 13.

⁸Свасьян К. А. Философия символических форм Э. Кассирера. Ереван, 1989. С. 112.

щегося всеми силами очиститься от мифических и метафизических «приправ», но построившего вместо этого свою не менее мифическую надстройку.

Переходя от мифологии к экологии, нельзя не отметить, что само слово «экология» в последнее время не без помощи средств массовой информации в значительной мере мифологизировано. Для непосвященной публики оно звучит почти магически и связано с многочисленными ошибочными представлениями. Например, согласно одному из них, экология — очень молодая наука, возникшая только недавно в ответ на вызванное деятельностью человека резкое ухудшение состояния окружающей среды. В том, что это не так, мы можем легко убедиться, если просмотрим содержание ведущих экологических журналов и перечислим круг обсуждаемых в них проблем. Выяснится, что в значительной своей части концептуальный аппарат современной экологии восходит к 20—40-м годам, а выдвигаемые в ней задачи следуют прежде всего из логики развития самой науки, но не из запросов практики, хотя, конечно, взаимосвязь экологии с практикой хозяйственной деятельности иногда бывала достаточно тесной.

Однако наш дальнейший рассказ — не о тех ошибочных представлениях, которые в разговорном языке зовутся «мифами», а об элементах мифологического сознания, или, может, правильнее сказать, мифологического способа мышления, которые существуют внутри экологии. Подчеркнем, что пониматься экология будет в ее классическом определении, т. е. как биологическая наука, изучающая взаимоотношения организмов со средой.

Каковы же особенности мифологического способа мышления, нашедшие свое отражение в экологии?

РЕАЛЬНОСТЬ БЕЗ ПОДТЕКСТА

В отличие от науки мифология не оставляет места гипотезам. Все в мире происходит так, как должно, и только так. Герои мифов — всегда реальные личности, а не какие-то абстрактные образы, выполняющие функции типизации или обобщения. В мифе нет подтекста. Он просто описывает то, что есть. Привязанность мифа к действительности отражается и его склонностью к именам собственным. В мифе все участники названы по имени, они глубоко индивидуализированы, максимально конкретны. Но имена собственные непереводимы, и совершенно справедливо этой непереводимости языка собственных имен Ю. М. Лотман и Б. А. Успен-

ский уподобляют непереводимость мифологического сознания в план иного описания⁹.

Однако, с другой стороны, как замечают те же авторы, «именно подсистема существенных имен образует в естественном языке тот специальный пласт, который может быть подвержен изменению и сознательному (искусственному) регулированию со стороны носителя языка». Изменение названия воспринимается мифологическим сознанием как изменение самой сути объекта, как глубокое преобразование его природы. В некоторой мере эта черта осталась свойственной и сознанию современного человека. Особенно остро она проявляется в политической жизни. Недаром крупные политические перемены в стране (например, в России в Петровскую эпоху или в наше время) обычно связаны с целой серией переименований.

Ограничение исследовательских задач описанием того, что есть, и отказ от объяснения, от поисков механизма (поскольку механизм — это уже какая-то идеализация, т. е. нечто чуждое мифологическому сознанию) наблюдались в истории экологии неоднократно. Наиболее ярко эти особенности мифологического подхода проявлялись, пожалуй, в фитоценологии (учении о наземных растительных сообществах) и выросшей на базе этого учения в нашей стране биогеоценологии. Вплоть до недавнего времени основная задача фитоценологии многими (но не всеми, и это чрезвычайно важно!) ее адептами виделась в бесконечном придумывании новых терминов или, что чаще, в обсуждении «правильности» или «неправильности» их использования разными авторами. Множество примеров такого рода обсуждений можно найти даже в трудах такого неординарного исследователя, как В. Н. Сукачев. Подобная чрезмерная увлеченность терминологическими спорами вряд ли способствует развитию науки, особенно если споры эти не заканчиваются постановкой вопросов, ответы на которые могут дать только конкретные исследования.

Тенденция считать всякое простое описание достаточной целью экологического исследования не столь безобидна, как может показаться. Она ведет к очень большим затратам материальных средств, труда и времени научных работников, но при этом не приводит к сколь-либо заметному прогрессу в понимании тех или иных экологических систем (популяций, сообществ, экосистем и т. п.). Ведь ставится задача описать,

⁹Лотман Ю. М., Успенский Б. А. // Труды по знаковым системам. Учен. зап. Тартуского ун-та. 1973. Вып. 308. С. 282—303.

а не понять. И хотя любое описание также всегда несвободно от концептуальной предвзятости (или, как любят говорить науковеды, теоретической нагрузки), все же необходимость объяснения в значительно большей мере требует формулировки определенной гипотезы о смысле или механизме наблюдаемого явления.

Этот смысл или этот механизм надо раскрыть, надо догадаться о его далеко не всегда очевидной сути. Ясно, что задача понимания (т. е. раскрытия механизма) уже выходит за рамки мифологического взгляда на вещи. И хотя экология, особенно в рамках популяционного подхода, вроде бы и достигла значительного прогресса в понимании тех или иных явлений, идущая от мифологии склонность довольствоваться описанием еще очень распространена. Так называемые комплексные экологические (биогеоценотические, экосистемные и т. п.) исследования, особенно любимые в нашей стране теми, кто по должности призван «организовывать» науку, непосредственно восходят к конкретности мифологического мировоззрения. Неудивительно поэтому, что полученные в результате этих исследований громоздкие описания обычно мало что объясняют и вообще оказываются мало кому нужными¹⁰.

МИР КАК ЦЕЛОЕ

Для мифологического мира чрезвычайно характерна целостность, т. е. неспособность быть разделенным без утраты каких-то очень существенных свойств. Все в мире мифа тесно связано, а если и берется от этого мира какая-либо часть, то она уже всегда обладает некой новой целостностью (и отсюда изоморфизм мифологических построений, но об этом речь дальше). Теснейшая связанность всех организмов между собой и с условиями существования, связанность, определяющая целостность окружающей нас живой природы, по сути дела, может рассматриваться как древнейшая парадигма экологии, восходящая непосредственно к мифу как основе мировоззрения человека в донаучную эру.

Целостность мира восхищает и удивляет. Она способствует мифической трактовке мира как чуда (то, что миф — это чудо или чудесная история, неоднократно подчеркивается в цитированной выше книге Лосева).

Вместе с тем проникновение и укрепление в экологии мифических представлений о целостности изучаемых этой наукой систем нередко служило тормозом на пути дальнейших исследований. Использование методологии редукционизма, оказавшейся столь продуктивной в познании молекулярных основ жизни, со стороны значительной части экологов энтузиазма не встретило. Экспериментальное вмешательство в природу, а тем более проведение лабораторных опытов вплоть до недавнего времени считалось нежелательным, поскольку эффект самого вмешательства мог привести к выводам, не имеющим ничего общего с тем, что реально происходит в природе.

Идущая от мифологии трактовка мира как некой целостности имеет и сугубо практическое значение. На это еще в 30-х годах обратил внимание Э. Гуссерль: «...поскольку весь мир считается управляемым мифическими силами, и от способа их действия зависит прямо или опосредованно судьба человека, универсально-мифическое видение мира оказывается, пожалуй, порожденным практикой»¹¹. Отсюда тайная вера многих экологов (но не только их) в то, что, изучая природу именно как незыблемое целое, человек способен постичь фундаментальные законы ее устройства и практически их использовать¹².

СКЛОННОСТЬ К ИЗОМОРФИЗМАМ

Конкретность, если не сказать наглядность, мифологического мышления, его привязанность к миру, где все названо именами собственными, при неразвитости абстрактно-логического уровня сознания создает условия, чтобы одни объекты окружающего мира использовались в качестве моделей для других. Идея установления изоморфизма — отношений подобия или тождественности — весьма обычна в мире мифологического¹³. Отсюда и древнее представление о макрокосме Вселенной, находящее свое отраже-

¹¹ Гуссерль Э. // *Вопр. философии*. 1986. № 3. С. 101—116.

¹² Поиск мировых констант — одно из проявлений тоски по универсально-целостному описанию природы. Зависть к физикам не дает в этом деле покоя биологам, и отсюда порой возникают ничем не оправданные фантастические концепции. Примером могут служить представления А. В. Жирмунского и В. И. Кузьмина, изложенные в их вышедшей уже вторым изданием книге «Критические уровни в развитии природных систем» (Л., 1990).

¹³ Подробнее об этом — в упомянутой статье Лотмана и Успенского (1973).

¹⁰ Критику «Комплексных исследований» см.: Винберг Г. Г. // *Экология*. 1983. № 3. С. 3—12.

ние в микрокосме человека. Экологам хорошо известна появившаяся еще в 1887 г. работа С. Форбса «Озеро как микрокосм»¹⁴, хотя надо сказать, что понятие микрокосма использовалось в ней скорее иносказательно.

Гораздо более важной для развития экологии оказалась склонность мышления к изоморфизмам, проявившаяся в форме органицизма, т. е. уподобления организму различных объектов (популяций, сообществ, экосистем и даже всей биосферы), не являющихся организмами в узком смысле этого слова. Органицизм — очень удобная для экологов методология, поскольку позволяет не только описывать и классифицировать различные экологические объекты, опираясь на громадный опыт «организменной» биологии, но может и «объяснить» поведение различных экологических систем путем прямых аналогий между ними и отдельными организмами. И хотя на самом деле такое «объяснение», как правило, превращается в описание по подобию, оно оказывается очень важным для упорядочения нового знания, приведения его в форму, легко воспринимаемую другими людьми.

При сравнении с организмом сообщества или даже целой экосистемы возможны два пути установления аналогий. Первый — изучение разнообразия сообществ, трактуемых как дискретные образования, в чем-то сходные с организмами. Будучи выделены по структурным признакам (обычно — по видовому составу и соотношению обилия видов), они могут быть типизированы и классифицированы. При этом исследователь сохраняет тайную и, как правило, неосознаваемую надежду получить систему классификации сообществ, позволяющую предсказывать какие-то важные свойства сообществ аналогично тому, как это можно сделать в случае организмов при отношении их к той или иной таксономической группе. Именно на такой, структурной основе чаще всего проявляется органицизм в фитоценологии.

Второй путь, оказавшийся, пожалуй, более плодотворным, — это сопоставление функционирования организма и экосистемы. Сходство процессов, протекающих в организме и экосистеме, не раз отмечалось экологами. Так, еще в 1907 г., задолго до появления слова «экосистема», была опубликована работа американского исследователя

Э. Бёрджа¹⁵, специально посвященная «дыханию озер». Интересно, что прославившийся впоследствии как один из основателей лимнологии Бёрдж начинал свою научную деятельность как зоолог, а во время стажировки в Германии он проводит чисто физиологические исследования (на классическом объекте физиологов — лягушке). В нашей стране выдающиеся успехи в изучении трансформации вещества и энергии в водных экосистемах были достигнуты в 30—40-х годах, причем (возможно, также не случайно) один из лидеров данного направления — Г. Г. Винберг свои первые шаги в науке сделал как физиолог в руководимой С. Н. Скадовским лаборатории физико-химической биологии.

Органицизму в экологии противостоит редукционистский подход, для которого характерно стремление раскрыть механизмы, лежащие в основе тех или иных явлений. Успех редукционистского подхода нередко связан с отказом от попыток объяснить сразу все, происходящее в сообществе или экосистеме, и с концентрированием внимания на, казалось бы, частных, но разрешимых вопросах. В последнее время редукционизм достиг значительных успехов, однако он не вытеснил, да, видимо, и не сможет вытеснить органицизм, столь близкий образом мифологического мышления.

ЦИКЛИЧЕСКОЕ ВРЕМЯ

В мире мифов время — это не равномерная длительность классической механики, но и не историческое время в понимании современной науки. По выражению Э. Кассирера, мифу свойственны некие «временные образы», символизирующие периодические становление и бытие, уход и приход, рождение и смерть. Древнейшая форма мифологического мировоззрения, как подчеркивал Кассирер, есть «в некотором роде биологическое время: ритмически разделенные подъемы и спады самой жизни»¹⁶. О цикличности мифического времени, выступающего как вечная череда рождений, созревания, умирания и воскрешений, говорят и многие другие авторы. Весьма вероятно, что цикличность природных процессов, имеющая столь важное значение в жизни человека, не могла не повлиять и на формирование первых концепций времени.

Циклический характер мифологическо-

¹⁴Forbes S. A. // Illinois Laboratory of Natur. History Bull. 1887. V. 15. P. 537—550.

¹⁵Birge E. A. // Trans. Amer. Fish. Soc. 1907. V. 36. P. 223—241.

¹⁶Цит. по: Свасьян К. А. Философия символических форм Э. Кассирера. С. 150.

го времени прямо связан и с идеей природного равновесия, которую наряду с представлением о взаимосвязанности всего в природе можно причислить к древнейшим экологическим концепциям, не утратившим, однако, своего значения и в наши дни. Особенно любят эту идею популяризаторы науки, не всегда имеющие четкое представление о том, какие проблемы действительно находятся в центре внимания экологов.

Время в мифе непосредственно связано с проблемой причинности. Если какие-то события сопряжены во времени, например одно следует за другим, то такая чисто временная связь нередко трактуется как причинная. Животные, появляющиеся в определенное время года, в буквальном смысле приносят его с собой. Установление каузальной связи между событиями только на основании одновременности их протекания, к сожалению, нередко встречается и в современной экологии. Таковы, к примеру, попытки «объяснить» сезонный ход численности каких-либо насекомых его корреляцией с изменениями температуры или уж совсем малообоснованная надежда обосновать многолетние колебания численности грызунов и нападающих на них хищников зависимостью от периодического изменения солнечной активности. Применение методов статистики, подчас простого коэффициента корреляции, нередко придает этим исследованиям наукообразия, принимаемое за достоверность.

ПРЕДОПРЕДЕЛЕННОСТЬ

Логика мифа, как не раз подчеркивали изучающие ее специалисты¹⁷, есть особая, волшебная логика, по-своему строгая, хотя и не имеющая ничего общего с формальной аристотелевой. Иногда может показаться, что логика мифа игнорирует даже здравый смысл, но, с другой стороны, если бы не обращение мифа к всемогущим богам, к волшебным свойствам предметов, к трактовке чуда как чего-то совершенно естественного, наверное, миф перестал бы быть мифом. Вопрос «почему?» нередко фактически запрещается мифологическим сознанием, поскольку ответа типа «таково было желание Зевса» достаточно, чтобы решить все проблемы причинно-следственных связей. Запрет на определенные вопросы фактически пере-

водит чудесное в разряд естественного. В мире мифов нет места случайности, спонтанности (спонтанность если и проявляется, то только на уровне желаний богов) — здесь все жестко предопределено. И хотя порой те или иные события происходят чудесным способом (а как иначе преодолеть непреодолимое), все равно осуществляются они строго в соответствии с заранее имеющимся планом, с тем, что, буквально, предначертано судьбой. Эту важнейшую особенность мифотворческой логики Я. Э. Голосовкер называл «законом абсолютного достижения цели».

Вера в жесткую детерминированность поведения и развития нашего мира хотя и поколеблена физикой элементарных частиц, продолжает играть определенную роль во многих науках, в том числе в биологии (несмотря на дарвинизм, который антидетерминистичен по своей сути). Особое влияние детерминистские представления оказывали там, где сильны были позиции органицизма. Так, один из крупнейших экологов первой половины века ботаник Ф. Клементс трактовал сообщество как своего рода сверхорганизм, а основной чертой, общей для организма и сообщества, считал именно детерминированность развития. Свои соображения он основывал прежде всего на изучении сукцессии — закономерной смены одних видов растений другими в процессе восстановления растительного покрова после какого-либо нарушения (вырубка леса, вспашка луга, образование новой песчаной дюны и т. п.). Пройдя через ряд промежуточных стадий, сукцессия заканчивается образованием весьма устойчивого сообщества, тип которого характерен для данной местности с ее специфическим климатом и типом почв. С точки зрения адептов детерминистских взглядов на природу сукцессии, существенно то, что конечные устойчивые сообщества в одной местности на одних и тех же почвах очень сходны (фактически являются модификациями одного сообщества), тогда как сообщества начальных и промежуточных этапов сукцессии могут на отдельных участках довольно сильно различаться. Иными словами, в ходе сукцессии нередко происходит конвергенция — сближение разных сообществ, что может рассматриваться как проявление принципа эквивифинальности — достижения одного конечного результата (цели) при разных стартовых условиях¹⁸. И хотя представления Клементса

¹⁷ См. яркое описание логического устройства мифа в замечательной книге нашего соотечественника Я. Э. Голосовкера «Логика мифа» (М., 1987), книге, давно написанной, но опубликованной только недавно, спустя 20 лет после смерти автора.

¹⁸ Сторонники органицизма всегда придавали большое значение принципу эквивифинальности. Классическим примером его считается развитие нормального целого

о сукцессии неоднократно критиковались за крайний детерминизм, они, напротив, привлекали внимание других исследователей именно надеждой предсказать будущую динамику сообщества.

В некоторых случаях идеи о детерминистском характере определенных процессов в экологии заимствованы из механики (что не означает, однако, отсутствия связи с мифологическими элементами сознания). Например, по мнению Р. Перля¹⁹, предложенная им (в соавторстве с Ридом) модель логистического (S-образного) роста популяций есть некий универсальный закон, всегда соблюдающийся и не нуждающийся в каком-либо объяснении. Объяснять, как считал Перль, нужно только отклонения от логистической кривой, подобно тому, как нужно объяснять случаи кажущегося несоблюдения законов Ньютона.

Детерминированность развития каких-либо событий в мифе обычно связывается с некой целью, поставленной высшими силами. В биологии детерминированность также порой рассматривается как своего рода «механизм целесообразности». А на протяжении нескольких веков господства креационизма само наличие целевой установки было необходимым и достаточным условием для объяснения всех проявлений детерминизма в биологии. Иначе говоря, это была чисто мифологическая установка. Серьезные сомнения в правомочности самого термина «целесообразность» возникли после упрочения дарвинской концепции естественного отбора, из которой следовало, что никакой заранее поставленной цели перед чредой эволюционирующих организмов нет, а любой организм есть результат того, что способствовало выживанию его предков, а вовсе не того, что обязательно должно способствовать процветанию его потомков. Выражаясь афористически, можно сказать, что организм апостериорен, но не априорен.

ЭКОЛОГИЯ И ДАРВИНИЗМ

Победу дарвинизма называют иногда материалистической революцией в биологии²⁰. С неменьшим основанием можно ее

организма морского ежа из разделенных, а затем снова соединенных, но предварительно перемешанных в беспорядке blastomeres. Развитие идет при этом разными путями, но конечный результат его одинаков.

¹⁹ Pearl R. The biology of population growth. N. Y., 1925.

²⁰ Lewontin R. D. // The heritage of Copernicus: Theories "More pleasing to the mind". Cambridge (Mass.), 1974. P. 166—183.

назвать крупным этапом в демифологизации биологии, однако наивно полагать, что мифологические элементы были при этом вытеснены совсем или что не были порождены новые мифы. Безусловно, благодаря трудам Дарвина эволюционная идея широко распространилась и закрепилась в научном сообществе. Совершенство строения и функционирования организма, ранее трактовавшееся как проявление божественного замысла, стало рассматриваться как результат естественного (не требующего вмешательства высших сил) процесса, благо гипотетический механизм этого процесса был уже придуман. Однако если поиск целесообразного и в додарвинские времена был ариадниной нитью биологического исследования, то смена представлений о механизме возникновения этой целесообразности сама по себе ничего нового в эти исследования не внесла.

Экология как термин появилась на гребне увлечения только что появившимся дарвинизмом. Напомним, что «Происхождение видов» Ч. Дарвина вышло в 1859 г., а «Всеобщая морфология» Э. Геккеля, где впервые упоминается слово «экология», в 1866 г. Известно также, что Геккель находился под сильным влиянием дарвинских идей, и влияние это даже нашло свое отражение в подзаголовке его книги, «Всеобщая морфология», который гласит: «Общие основы науки об органических формах, механически основанной на теории эволюции, реформированной Чарльзом Дарвином».

Как самостоятельная наука экология формируется в начале века, причем эволюционные идеи на это формирование практически никак не влияют. Более того, развиваемые тогда некоторыми крупными экологами представления о сообществе как сверхорганизме на самом деле противоречат дарвинизму²¹. На полную независимость практической работы экологов от существующей теории эволюции справедливо указал в 1930 г. и один из основателей экологии Ч. Элтон²², не считавший, однако, такое положение нормальным. На протяжении последующих трех десятилетий ситуация остается по сути неизменной (исключением, пожалуй, были только работы Г. Ф. Гаузе и Д. Лэка, но на доминирующие настроения не могли повлиять и они).

Взаимоотношения экологии и эволюци-

²¹ Подробнее об этом см.: Галл Я. М. // Экология и эволюционная теория. Л., 1984. С. 109—152.

²² Elton C. Animal ecology and evolution. Oxford, 1930.

онной теории начали меняться только в последние десятилетия, когда экологи все чаще стали задавать вопросы типа: почему животные и растения ведут себя именно так, а не другим образом? как сопоставить и количественно оценить селективную ценность разных признаков? какова расплата организмов за приобретение в ходе эволюции тех или иных новшеств? Подход, в рамках которого задаются подобные вопросы, характеризуется стремлением найти механизмы, определяющие реально наблюдаемую картину распределения и динамики организмов в пространстве-времени. Идеология данного подхода — классический дарвинизм, т. е. учение о механизме эволюции. В свете этих исследований становится особенно понятным, что на протяжении уже более чем полувекового существования экологии как вполне сформировавшейся науки эволюционная идея существовала в ней только как миф, как почти божественная сила, сотворившая в незапамятные времена организмы, замечательно приспособленные к окружающей среде. Становление экологического облика современных организмов относилось как бы к сакральному времени мифологии, не имеющему ничего общего с тем временем, в котором живут экологи и изучаемые ими объекты.

Итак, элементы мифологического всегда существовали и, скорее всего, будут продолжать существовать в естествознании, причем в биологии, в силу ее близости к гуманитарным наукам, они играют особенно важную роль. Элементы эти есть и в науке как познании, и в науке как культуре. Живучесть их объясняется скорее всего устойчивостью тех древнейших структур нашего сознания, которые ответственны за порождение, восприятие и хранение мифов.

У людей, не вовлеченных непосредственно в научное творчество, мифологический компонент выражен, видимо, сильнее, чем у большинства ученых (я не говорю о гениях, сознание которых — всегда величайшая тайна), но не следует забывать, что сами ученые не изолированы от окружающего их общества. Так, например, по характеру своих взаимоотношений с мифом наука всегда противостоит политике. Но на науку не может не влиять политика, особенно политика догматическая, всегда сопровождаю-

щаяся активным мифотворчеством и затратой специальных усилий на поддержание определенных мифов. Печальные последствия для науки при этом неизбежны. Трагическая судьба отечественной биологии (прежде всего генетики) в предвоенные годы и в последующие почти два десятилетия должна служить грозным предупреждением об опасности внедрения в науку современной, порожденной политикой, мифологии. Значительный урон был нанесен при этом не только генетике, но и экологии²³, причем последствия его ощутимы до сих пор.

Закljučая наш обзор, в котором, конечно, далеко не все стороны обсуждаемой проблемы нашли свое отражение, мы должны признать, что сознательно избегали введения какого-либо строгого определения понятия «миф». Дело в том, что существует целый ряд таких определений (по сути дела, вся книга А. Ф. Лосева «Диалектика мифа» есть тщательный подбор соответствующей дефиниции), и, похоже, многозначность данного термина кроется в его глубинной природе. Она есть отражение не только естественной полиморфности языка (проявляющейся в том числе и в использовании научного термина), но и встроенности мифологических элементов в наше сознание. При всем многообразии конкретных определений понятия «миф» у них у всех, однако, есть общие черты: всегда речь идет о чем-то вымышленном (во всяком случае, с современной точки зрения) и характеризующемся очень большой устойчивостью. В мифе есть что-то такое, что позволяет ему легко проникать в человеческое сознание и долго там удерживается. Элемент волшебного (вспомним определение Лосева: «миф — это чудо») придает всему мифологическому особый привкус.

Будучи древнейшей формой описания и упорядочения действительности, миф продолжает сохранять непреходящую силу. В своих научных исканиях мы должны стараться идти дальше мифа, но вряд ли стоит с ним «бороться»: миф, выставленный за дверь, сразу же проникает через окно, но при этом может предстать в замаскированном виде. Гораздо важнее поэтому суметь распознать миф, понять его и научиться с ним сосуществовать.

²³ См., например: М и н и н Н. В. О некоторых идеалистических учениях в экологии // Природа. 1939. № 7. С. 30—43.

На пути ко «второй ядерной эре»

В. В. Орлов



Виктор Владимирович Орлов, доктор физико-математических наук, заместитель директора Научно-исследовательского и конструкторского института энерготехники, профессор Московского инженерно-физического института. Действительный член Академии естественных наук РСФСР. Область научных интересов — ядерная физика и техника, ядерная энергетика. Лауреат Ленинской премии и Государственной премии СССР.

КРИЗИС ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ЕЕ БУДУЩЕЕ

Первый этап развития ядерной энергетики завершается застоем 90-х годов. Вопреки ожиданиям и амбициозным программам 60—70-х годов, ядерная энергетика все еще играет довольно скромную роль в экономике большинства стран и мира в целом, замещая в мировом топливном балансе лишь 5 % (в СССР — 3 %) обычных топлив. Но для отдельных стран и регионов эта доля выглядит уже довольно внушительно — около 10 % на Северо-Западе СССР и Украине, около 30 % (1) во Франции. Темпы роста ядерной энергетики в последнее время резко снизились, и за последнее десятилетие века уровень ее мощностей едва ли возрастет более чем на 10—15 %. Новых же заказов немного. Одна из важнейших причин этого — образование избыточных резервов в электрогенерирующих мощностях развитых стран.

Меры по энергосбережению, принятые в последние 15 лет этими странами, оказались успешными и привели к снижению энергоемкости валового национального продукта примерно на треть, что намного превышает эффект экономии обычных топлив, который дала ядерная энергетика.

Лишь некоторые из развивающихся стран (наиболее яркий пример — Южная Корея) готовы к активному строительству сложных и дорогих АЭС. В СССР ситуация особая: она характеризуется глубоким экономическим кризисом, порожденным многолетним неэффективным хозяйствованием, серьезными диспропорциями в структуре экономики. Так, по душевому потреблению топлива (7,4 т у. т./год)¹ и энергия СССР стоит в ряду наиболее развитых стран мира (как и по многим другим первичным ресурсам). Но вследствие их крайне неэффективного использования СССР по уровню жизни отстает не только от развитых (в четыре—

¹ В энергетике принято оперировать универсальным понятием тонны условного топлива: 1 т у. т. = $7 \cdot 10^6$ ккал (угольный эквивалент).

шесть раз), но и от многих развивающихся стран, довольствующихся потреблением 1 т у. т./год на человека. Потребуется много сил и времени, чтобы перестроить структуру экономики на новых для страны рыночных началах, что должно привести к более эффективному использованию топлива и энергии.

По мере налаживания экономики появится возможность осваивать и энергосберегающие технологии. Поэтому в предстоящие 20 лет у страны не будет не только возможности, но и необходимости в увеличении производства энергии, будь то за счет ядерного топлива, природного газа или других источников. Однако экономически и экологически выгодным остается ограниченное строительство АЭС для замещения части выработавших ресурс обычных электростанций, при безусловном повышении безопасности АЭС и согласия населения.

Вторая причина спада активности в ядерной энергетике — большие аварии на АЭС и вызванный ими рост общественной оппозиции к ней, особенно в СССР, пережившем Чернобыльскую катастрофу. Не играя решающей роли в экономике, ядерная энергетика часто становится предметом политических игр, жертвой мораториев и других сковывающих ее развитие решений. Многие считают, что в таких условиях ее проще закрыть, поскольку пока это не приведет к чрезмерным экономическим потерям, но устранил связанные с нею риск и общественные страсти. В этом есть своя логика, если только ограничиться обсуждением ядерной энергетики близкого к нынешнему уровню. При замещении небольшой части обычных топлив ядерная энергетика не приведет к радикальному решению ни одной из острых проблем топливно-энергетического хозяйства — ресурсной, экологической, транспортной, социальной, международной. Что касается частных и местных проблем, то они могут быть решены различными способами. Но подобное сужение вопроса об использовании ядерной энергии нежелательно. Ее возможности в решении перечисленных проблем, как и усилия, требующиеся от общества для преодоления связанного с ней риска, столь велики, что едва ли следует рассматривать ядерную энергетику лишь как средство решения частных энергетических задач.

Завершающийся полувековой этап развития ядерной энергетики важен не только сам по себе, но и как ступень к крупной ядерной энергетике будущего.

Ядерная энергия — одно из крупнейших открытий физики нашего века. Как и

многие другие, оно было использовано, в первую очередь, для военных целей. Ядерное оружие породило трагедии Хиросимы и Нагасаки, страх людей перед угрозой ядерного уничтожения, но оно и в корне изменило военно-политическую обстановку в мире, исключив из нее большие войны. Еще в 40-е годы Э. Ферми в США и А. И. Лейпунский в СССР указали на возможность расширенного воспроизводства (бридинга) ядерного горючего в реакторах на быстрых нейтронах. С этого и начались работы по мирному использованию ядерной энергии. Основная цель этих работ — открывать дорогу развитию человечества без ограничений со стороны топливных ресурсов.

Впервые «ядерное» электричество было получено в 1952 г. в США на опытном «быстром реакторе» EBR-1. Но создание промышленного быстрого реактора требовало еще решения целого ряда весьма непростых проблем. Реактор «Э. Ферми» потерпел аварию уже при пуске в 1967 г. У нас в стране опытный быстрый реактор БР-5 с керамическим (PuO_2) топливом и охлаждением жидким натрием был пущен в Обнинске еще в 1958 г. Реакторы этого типа (БН) и составили основу первого поколения бридеров: в 1972 г. был пущен реактор БН-350 в г. Шевченко, а затем Phoenix во Франции и PFR в Великобритании. Всего в мире построено шесть крупных бридеров.

Но первые быстрые реакторы оказались достаточно сложными и дорогостоящими для массовой энергетики, и сейчас в разных странах разрабатываются их усовершенствованные проекты. Развитие же ядерной энергетики началось с более простых для того времени тепловых реакторов, прежде всего легководных (ЛВР), созданных на базе реакторов военного назначения (для производства оружейного плутония и подводных лодок).

Успехи первых АЭС породили в 60-е и 70-е годы программы создания уже в этом веке ядерной энергетики большого масштаба. Они не были выполнены из-за снижения спроса на новые энергетические мощности и крупных аварий на АЭС «Тримайл Айленд» (ТМА) и в Чернобыле. Принятые меры повышения безопасности АЭС и создание усовершенствованных проектов АЭС традиционного типа позволили продолжить их эксплуатацию и строительство, хотя и в весьма ограниченных масштабах.

Что же дальше? Останется ли ядерная энергетика эпизодом в истории, средством решения частных энергетических задач или же реализует свои потенциальные возможности неограниченного по ресурсам, эко-

гически чистого и безопасного производства энергии и станет одним из главных источников энергии?

Возможности энергосбережения ограничены, а рост производства энергии минимум втрое в следующем веке неизбежен: будет расти народонаселение, все больше развивающихся стран станут подтягиваться к современному экономическому уровню.

В этих условиях традиционные энергетические технологии столкнутся с непреодолимыми проблемами. Возобновляемые источники, кроме гидроэнергии, в обозримом будущем смогут иметь лишь ограниченное применение в связи с крайне низкими и неравномерными энергетическими потоками. Управляемый термоядерный синтез пока не может рассматриваться как реальная основа энергетики следующего века, во всяком случае, его первой половины.

Ядерная энергетика, базирующаяся на реакторах деления, является хотя и не единственно мыслимым, но единственно реалистическим путем радикального решения проблем, связанных с увеличением в следующем веке производства энергии. Однако рост добычи и сжигания обычных топлив может быть остановлен, только если доля ядерной энергетики достигнет 20—30 % в топливно-энергетическом балансе. А это означает увеличение уровня ядерных мощностей примерно на порядок по сравнению с нынешним, т. е. переход к крупномасштабной ядерной энергетике.

Для нашей страны эта перспектива так же важна, как и для большинства других стран, а ресурсные (нефть, а в дальнейшем и газ), экологические и транспортные проблемы остры у нас и сейчас. В последние годы проявились и острые социальные проблемы огромного топливно-энергетического хозяйства страны. Переноса центр тяжести энергетического производства с топливобывающих отраслей и транспорта на современные индустриальные отрасли с высокой производительностью и качеством труда, ядерная энергетика открывает нам путь к их решению.

В ближайшие 20 лет, как уже отмечалось, потребности и возможности увеличения производства энергии у нас едва ли возникнут, но, наладив экономику, мы должны будем поднять это производство по крайней мере раза в полтора к середине века. Для нас крайне важно стабилизировать на нынешнем уровне потребление обычных топлив. Это и определяет цель и сам смысл следующего этапа развития ядерной

энергетики — то, что А. Вайнберг назвал «второй ядерной эрой».

Но приходится признать, что убедительная концепция крупномасштабной ядерной энергетики будущего, которая в полной мере учитывала бы как наш опыт, так и условия и критерии нового времени, пока не сформулирована.

Это наносит ущерб и существующей ядерной энергетике, лишая ее, быть может, главного аргумента в ее пользу.

ЭВОЛЮЦИЯ ИЛИ НОВЫЕ ЯДЕРНЫЕ КОНЦЕПЦИИ?

Ядерная энергетика следующего века должна будет выработать почти в 100 раз больше реакторо-лет, чем до сих пор (примерно 5 тыс. реакторо-лет) — т. е. около миллиона реакторо-лет. Это, безусловно, выдвигает по отношению к ней и новые требования, главные из которых:

- радикальное повышение безопасности; снижение по меньшей мере в 5—10 раз удельных расходов природного урана; сохранение при этом экономичности ядерной энергии.

Между тем основы ставших теперь традиционными концепции реакторов и топливного цикла (ЯТЦ) сформировались 30—40 лет назад из опыта военной ядерной техники и представлений того времени о развитии энергетике.

Благоприятный опыт работы первых реакторов и АЭС породил определенную «инженерную философию» безопасности, убеждение, что за счет улучшения конструкции, повышения качества и надежности оборудования и строительства, квалификации персонала, наконец, создания аварийных систем и эшелонированных барьеров для радиоактивности можно обеспечить необходимый уровень безопасности.

Исходя из этой философии, ставку делают на реакторы с большими запасами реактивности, низкой температурой кипения и высоким давлением воды, использующие горючие материалы (натрий, графит). Такие технические решения создают потенциальные опасности аварий из-за неконтролируемого разгона на мгновенных нейтронах, потери теплоносителя с расплавлением топлива, пожаров и взрывов, которые реализовались на АЭС ТМА и в Чернобыле, как только ядерная энергетика достигла определенных масштабов и выработала тысячи реакторо-лет. Аварии поколебали веру во всеискусие инженерных средств безопасности и породили новую философию, ключевые слова которой «внутренне присущая безопасность»

были введены в широкий обиход А. Вайнбергом². Но на практике мы имеем дело сейчас с реакторами тех же типов, усовершенствование которых направлено на снижение вероятности опасных аварий за счет наращивания инженерных систем и требований, хотя наряду с ними все больше используются элементы внутренне присущей безопасности: пассивные системы аварийной остановки и расхолаживание, эффекты саморегулирования реакторов обратными связями, естественная циркуляция теплоносителя и т. д. Применительно к новым проектам на этом пути удалось достичь значительных успехов, которые позволили прогнозировать безопасную работу таких АЭС, хотя при этом они усложнились и стали более дорогостоящими.

Развитые в последние годы методы оценки вероятности аварий, учитывающие большое число возможных событий и их цепочки, указывают на значительное снижение опасности аварий в результате принятых мер и решений. Согласно этим оценкам, уменьшилась вероятность аварии с разрушением активной зоны реактора с «измеренной» в авариях величины 10^{-3} в расчете на реактор-год до 10^{-5} — 10^{-6} , а радиоактивного выброса, с учетом надежности мер локализации, в том числе «оболочек безопасности», — до 10^{-7} . Хотя эти расчеты основаны на многих малодостоверных данных, в особенности по маловероятным событиям и по корреляции событий, так что надежность предсказаний невелика, тем не менее для экстраполяции существующего опыта на близкое будущее они годятся и указывают на значительное повышение безопасности новых АЭС.

Но для обоснования безопасности большой ядерной энергетики следующего века такие оценки экстраполировать нельзя.

Слабо убеждают наших современников и сравнения с числом жертв на дорогах, опасностью химических выбросов или стихийных бедствий, как и основанные на расчетных вероятностях оценки, исходящие из экономической теории риска, учитывающие и «цену» человеческой жизни.

Эта теория указывает на приемлемость вероятности большой аварии масштаба 10^{-5} , даже если ее «цена» окажется в 100 раз больше стоимости АЭС, хотя такая вероятность означала бы допущение нескольких аварий чернобыльского уровня в следующем веке.

При всей последовательности этих выкладок люди не хотят мириться с такой перспективой, и в этом с ними трудно не согласиться. Они требуют от всех новых технологий, ядерных и неядерных, резкого повышения экологической чистоты и безопасности, а на сетования «техников» о чрезмерности и некомпетентности этих требований, которые людям же обойдутся слишком дорого, отвечают, что готовы подождать, пока они или, может быть, другие ученые найдут приемлемые и не очень дорогие решения. То, что эти ожидания не напрасны, подтверждают успехи в энергосбережении. Известные меры ОПЕК были лишь поводом к осуществлению идей, зреющих в обществе.

Общество в передовых странах, достаточно обеспечившее себя в этом веке пропитанием и другими жизненными средствами в достатке, вместо высоких темпов количественного роста ставит теперь на первое место критерии качества жизни, во многом субъективные. Безусловно, эти критерии корректируются в соответствии с реальными техническими и экономическими возможностями, но они все больше определяют направления научно-технического прогресса и производства, тесня критерии «объективные». Качество само по себе требует немалых денежных затрат, но главные результаты достигаются здесь за счет новых технологий, в конечном итоге, благодаря затратам «серого вещества». Нам следует принимать это во внимание, поскольку отсюда вырастает вся философия нового времени, в котором общество, выходя из «царства необходимости», становится все более суверенным субъектом своей истории. Конечно, это относится к передовым странам, но и развивающиеся страны будут следовать, в конечном счете, за ними.

Требования, которые наши современники предъявляют к ядерной энергетике будущего, состоят прежде всего в исключении аварий с опасными выбросами радиоактивности, и это относится как к самим АЭС, так и ко всей технологии ядерного топливного цикла, включая проблему захоронения радиоактивных отходов (РАО).

Для этого потребуется новая ядерная технология, последовательно реализующая принцип внутренне присущей (естественной) безопасности, исключающей аварии главным образом за счет фундаментальных физических и химических свойств и закономерностей, присущих ядерному топливу, теплоносителю, РАО и другим компонентам ядерной технологии.

Ядерное топливо обладает в этом пла-

² Вайнберг А. Опыт реакторов деления — урок для ядерного синтеза // Природа. 1990. № 6. С. 81—87.

не фундаментальными преимуществами перед химическим:

в миллионы раз большей калорийностью, что резко снижает как объемы его добычи и транспортировки, так и образующихся радиоактивных отходов, и тем самым резко упрощает задачу их локализации и удаления;

бридинг ядерного топлива, не только решающий проблему его ресурсов, но и упрощающий регулирование ядерного горения;

саморегулирование обратными связями, также упрощающее регулирование;

сжигание (деление) в реакторах наиболее долгоживущей и опасной части РАО — актинидов;

постепенный радиоактивный распад остальной части РАО до уровня радиационной опасности природного урана, из которого они образовались, что открывает возможность захоронения РАО после длительной контролируемой выдержки без нарушения природного радиационного равновесия.

Здесь можно пойти по пути поиска принципиально новых решений, но опыт развития ядерной техники, которым мы уже располагаем, может помочь найти теплоносители, материалы и решения, соответствующие естественной безопасности. Бридинг, как одно из фундаментальных ядерных явлений, должен быть в полной мере использован для целей безопасности, обеспечивая одновременно и решение проблемы ресурсов ядерного топлива.

Внутренне присущая безопасность достигается не усложнением, а упрощением конструкций реактора, АЭС, систем управления и т. д. и отнюдь не экстраординарными требованиями к их качеству и к эксплуатационному персоналу. Это позволяет рассчитывать и на экономичность производства ядерной энергии.

Таким образом, последовательная реализация естественной безопасности позволит удовлетворить основным требованиям крупномасштабной ядерной энергетики, обеспечить безопасность, бридинг, экономичность без нарушения гармонии между ними, в то время как для традиционных ядерных технологий характерны внутренние противоречия. К примеру, реакторам ЛВР, на сегодня наиболее дешевым, присущи потенциальные опасности, связанные с высоким давлением воды, большими запасами реактивности вследствие относительно бедного нейтронного баланса. По той же причине они неэкономно расходуют уран, а капитальные затраты на них постоянно растут вслед за ужесточением требований по безопасности.

Из-за низких температур воды у них невысока эффективность производства электричества (КПД 30—35 %).

Высокотемпературные графитовые реакторы (ВТГР) благодаря уникальным высокотемпературным качествам созданного для них топлива (микросферы из UO_2 с покрытиями из пирографита и силицированного графита, диспергированные в графитовой же матрице) обладают рядом высоких характеристик безопасности в сравнении с ЛВР. Но запас реактивности, как и давление гелия, у них велики, а топливный баланс не лучше, чем у ЛВР. ВТГР способны обеспечить теплом различные высокотемпературные технологии, но магистральным направлением энергетики, в том числе и ядерной, остается производство электричества, которое в следующем веке будет доминировать в общем топливном балансе. А для эффективного производства электричества не требуются столь высокие температуры — например, в паросиловом цикле это достигается при температурах ниже 600°C , не требуется дорогой высокотемпературной технологии и материалов.

Тепловые реакторы типа ВТГР, вероятно, найдут свое место в ядерной энергетике будущего, но не в качестве ее основы (централизованное производство электричества), а, скорее, для обеспечения местных бытовых и промышленных потребностей в тепле, возможно, совместно с электричеством. В этом отношении весьма привлекательны и тепловые реакторы с расплавом солей урана и тория. Такой небольшой реактор работал некоторое время назад в США. Но массовая эксплуатация реакторов с циркулирующим жидким топливом, думается, станет возможной лишь при достижении очень высокой надежности и полной автоматизации обслуживания высокорadioактивного контура циркуляции.

Тяжеловодные реакторы (ТВР), работающие в основном в Канаде, не реализуют пока свои большие возможности в экономике урана (да сейчас это и неактуально). У нас в стране в Институте теоретической и экспериментальной физики на основе реактора КС-150, работавшего в Чехословакии, развивается новая концепция ТВР с охлаждением CO_2 и высокими характеристиками безопасности. Эта концепция может найти применение в электроэнергетике при условии, что будут получены простые и экономичные решения проблем, связанных с высоким давлением CO_2 , аварийным расхолаживанием и топливом.

Реакторы на быстрых нейтронах уже сегодня обладают топливными характери-

ками, достаточными для полного решения проблемы топливного баланса крупной энергетики. Видны пути и к достижению ими высокого уровня естественной безопасности. Но пока они сложны и дороги даже по сравнению с сильно подорожавшими ЛВР, и к тому же имеют свои проблемы безопасности. Это привело к распространению представления, что быстрые реакторы предназначены для отдаленного будущего, когда уран станет слишком дорог для ЛВР. Но уже путем несложных рассуждений можно показать, что быстрый реактор с жидкометаллическим охлаждением по своим физическим и техническим принципам, да и по управлению, проще теплового и близко подходит к идеалу естественной безопасности. Причина такого противоречия лежит в использовании жидкого натрия, в мерах по предотвращению его взаимодействия с водой и воздухом при обычной работе и в аварийных ситуациях. Сейчас в нашей стране, а также в Западной Европе и США разрабатываются проекты усовершенствованных реакторов этого типа, и они покажут, насколько удастся справиться с этой проблемой.

Итак, ответить на вопрос, поставленный в заголовке этого раздела, можно следующим образом.

Инерция больших вложений и накопленного в традиционных технологиях опыта всегда велика, а особенно в энергетике с ее масштабами, капиталоемкостью и длительными сроками разработки и освоения новых технологий. Ближайшее развитие ядерной энергетики возможно только путем эволюции традиционной ядерной технологии.

Однако «новая эра» по инерции не наступит. Крупная ядерная энергетика следующего века потребует новой технологии, и все та же инерционность энергетики заставляет позаботиться о ней заблаговременно.

ВНУТРЕННЕ ПРИСУЩАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

В мире, живущем по вероятностным законам, слово «исключение» по отношению к опасным ядерным авариям, строго говоря, означает сведение их вероятности к пренебрежимо малым величинам. В качестве таковой для ядерной энергетики следующего века, которая выработает около 10^6 реакторо-лет, может быть принята величина, скажем, 10^{-8} .

Но как убедиться самим и убедить других, что эта величина не будет больше —

ведь оценки надежности технических устройств сами ненадежны.

Внутренне присущая безопасность, достигаемая за счет вполне определенных природных закономерностей, позволит детерминистически исключить опасные аварии при любых неисправностях, ошибках управления или внешних воздействиях, за исключением, быть может, маловероятных цепочек событий, ведущих к опасным состояниям.

Оценка максимальной вероятности осуществления таких цепочек не должна превышать 10^{-8} на реакторо-год. При этом должны рассматриваться любые события, осуществимые в рамках законов природы, а также человеческих и технических возможностей.

Чтобы исключить разгон на мгновенных нейтронах, нужно, во-первых, снизить запас реактивности, компенсируемой органами регулирования, до величин, меньших β . Воспользовавшись воспроизводством плутония, можно снизить до минимума изменение коэффициента размножения с выгоранием топлива, а переход от тепловых нейтронов к быстрым исключит эффект отравления ксеноном и т. д.

Оптимизация конструкции реактора позволяет снизить и другие эффекты реактивности.

Во-вторых, свойства топлива, теплоносителя и конструкция реактора должны исключать опасное увеличение реактивности в результате аварийных процессов в реакторе, как это было в Чернобыле, где проявился положительный эффект реактивности при выкипании воды (довольно простыми изменениями конструкции этот эффект исключен в новом проекте реактора такого типа).

Другой важный класс не менее опасных аварий связан с потерей теплоносителя в результате его выкипания и утечки через неплотности контура охлаждения с последующим расплавлением топлива и выходом радиоактивности (как это было в аварии на ТМА). Теплоноситель, закипающий при высоких температурах, поддерживаемый при низком давлении, а также надежный аварийный отвод остаточного тепла из реактора (скажем, потоком воздуха через шахту, где размещен реактор, за счет естественной тяги) снимают эти проблемы. Этому же способствует и интенсивная естественная циркуляция теплоносителя в самом реакторе.

В качестве теплоносителя, топлива, замедлителя и других компонентов следует использовать негорючие материалы и избегать образования взрывоопасных веществ (например, водорода) при работе реактора или в аварийных ситуациях.

Что касается обращения с отходами, то первая задача, которая имеет по крайней мере принципиальное решение, состоит в выделении актинидов (кроме U и Pu, это Np, Am, Cm) после химической переработки облученного топлива в реакторе, где они «сжигаются» (делятся). Если их остаток в отходах не будет превышать 10^{-2} — 1 %, то обращение с выделенными и сконцентрированными РАО может быть следующим.

Они упаковываются в стальные трубы, которые размещаются в хранилище и охлаждаются естественным током воздуха. Объем такого хранилища и выделяемая в нем осколками тепловая мощность много меньше объема и мощности АЭС, а оборудование много проще, так что затраты на хранение РАО не могут быть большими. Примерно при 200-летней выдержке РАО их радиационная опасность снижается до уровня природного урана (в равновесии с продуктами его распада), использованного при их образовании, если на 1 т осколков приходится более 100 т урана (такое соотношение сохранится еще долгое время). В этом случае после выдержки РАО могут быть захоронены так, что радиоактивность, возвращенная земле, не будет превышать той, которая из нее извлечена. Разумеется, должны быть найде-

ны физико-химические формы, препятствующие распространению радиоактивности из мест захоронения РАО. По мере снижения удельных расходов урана условия радиационно-эквивалентного захоронения потребуют увеличения выдержки в пределе до 600 лет при полном сжигании добытого урана. Эти сроки будут резко сокращены при широком развитии радиационной техники в промышленности, сельском хозяйстве, медицине и т. д., для которой потребуются многие радиоактивные изотопы (особенно сильно влияют на время выдержки Cs и Sr). Развитие крупной ядерной энергетики не может происходить без широкого распространения в обществе радиационной культуры и знаний (подобно тому, как в этом веке была освоена культура пользования электричеством). Именно отсутствие этой культуры сдерживает сейчас использование многих весьма заманчивых радиационных технологий.

При решении проблем бридинга и безопасности АЭС и РАО не видно ресурсных и экологических ограничений для длительного функционирования ядерной энергетики. Поэтому и АЭС надо строить надолго, предусмотрев в проектах возможности простого

РЕАКТИВНОСТЬ

Цепная реакция деления характеризуется коэффициентом размножения K нейтронов от одного их поколения к следующему. Он зависит от среднего числа нейтронов ($\nu \sim 2,5-3$), возникающих при делении, увеличения их числа за счет деления ^{238}U самими быстрыми нейтронами ϵ и вероятности θ нового поглощения нейтрона делящимся ядром, избегая поглощения другими ядрами или вылета из реактора: $K = \nu \epsilon \theta$. Стационарная цепная реакция соответствует $K=1$, а отклонения от $K=1$ (реактивность ΔK) ведет либо к разгону ($\Delta K > 0$), либо к затуханию ($\Delta K < 0$) цепной реакции. Очень небольшая часть нейтронов деления ($\beta < 1\%$) появляется с большим запаздыванием (примерно 10 с), так что при $\Delta K < \beta$ изменения мощности реактора происходят достаточно медленно и легко регулируются. Но если $\Delta K > \beta$, то реактор разгоняется только на мгновенных нейтронах, для которых время жизни одного поколения составляет $10^{-3}-10^{-5}$ с (тепловые реакторы) и $10^{-7}-10^{-8}$ с (быстрые реакторы). Поэтому главное требование безопасности состоит в том, что ΔK не превышало β .

Коэффициент размножения меняется при работе реактора из-за выгорания топлива, накопления продуктов деления, в том числе ксенона, характеризующегося очень большим захватом тепловых нейтронов (отравление), при изменении мощности и температуры.

В тепловых реакторах эффект отравления составляет обычно 4—6 β (в быстрых он отсутствует), а за год работы изменение K часто превышает 10 β . В быстром реакторе производство Pu позволяет сделать изменение K по мере выгорания топлива много меньшим β .

Для поддержания критического состояния реактора ($K=1$) используются подвижные поглощающие стержни, компенсирующие «запас реактивности» ΔK реактора, меняющийся при подъеме мощности, отравлении и выгорании топлива.

и безопасного демонтажа реакторов, выработавших свой ресурс, и монтажа новых.

Можно, однако, предположить, что когда-нибудь человечество придет к новой энергетической технологии, более выгодной по тем или иным причинам, чем ядерная. Надо иметь в виду, что завершающая стадия ядерной энергетики будет длительной, так как придется постепенно сжигать накопленные актиниды. Радиоактивность самого ^{238}U невелика, но в нем накапливается радиоактивный ^{232}U с периодом полураспада около 100 лет, который отделить трудно, и поэтому придется сжигать большие количества накопленного урана.

Говоря о РАО, необходимо упомянуть о низко- и среднеактивных отходах, которые сейчас образуются при эксплуатации АЭС и других производства в очень больших объ-

емах. Уже сейчас используются различные методы компактирования таких РАО (сжигание, выпаривание и др.), что очень важно для упрощения их захоронения (сама величина радиоактивности в этих категориях РАО невелика по сравнению с высокоактивными отходами сжигания ядерного топлива).

Не менее важна проблема дальнейшей транспортировки радиоактивных и деющих веществ. Для предотвращения связанных с ней потенциальных опасностей при крупномасштабном развитии ядерной энергетики, вероятно, придется идти на замыкание топливного цикла при АЭС. Предпосылки к этому есть и сейчас (реактор с расплавленными солями, опыт американского опытного быстрого реактора EBR-2).

Однако даже при исключении аварий по внутренним причинам остается опасность

АВАРИИ

Разгон на мгновенных нейтронах может быть вызван неправильным (вследствие ошибок или неисправности управления) движением стержней, если $\Delta K > \beta$, либо изменением K при аварийном нарушении композиции реактора. Так, в Чернобыле быстрое испарение воды (она не только замедляет, но и достаточно сильно поглощает нейтроны) привело к превышению ΔK над β и разгону на мгновенных нейтронах. В быстрых реакторах кипение теплоносителя (или попадание в активную зону газовых пузырей) также может привести к положительной реактивности $\Delta K > \beta$ — так называемый пустотный эффект.

Другой, не менее опасный вид аварии связан с нарушением процесса охлаждения топлива, его последующим расплавлением и выходом радиоактивности. В реакторах с высоким давлением (ЛВР и др.) это может произойти в результате разгерметизации контура охлаждения с кипением и потерей теплоносителя (так было на реакторе ТМА).

При остановке реактора топливо продолжает выделять тепло за счет распада содержащихся в нем осколков деления. Вначале выделение тепла составляет до 7 % полной мощности, затем оно постепенно снижается. Поэтому очень важно обеспечить отвод тепла от реактора даже после того, как он остановился, если произошла авария в системе отвода тепла, для чего необходима очень надежная система аварийного охлаждения (лучше всего — потоком воздуха через шахту реактора за счет естественной тяги).

Важную роль в динамике реакторов, в том числе аварийной, играют обратные связи. Например, с ростом температуры топливо расширяется, а поглощение нейтронов ^{238}U , носящее резонансный характер, увеличивается из-за уширения резонансных линий. В результате положительная реактивность гасится, и разгон реактора прекращается, а затем он останавливается. Энергия, выделенная в такой «вспышке», зависит от введенной реактивности и от величины обратной связи, но не зависит от времени жизни нейтронного поколения. Поэтому неверны часто встречающиеся в публикациях утверждения, что короткое время жизни нейтронов делает быстрый реактор более опасным: вспышка мощности при $\Delta K > \beta$ будет здесь более высокой, но и более короткой.

Неверны и сравнения реакторов с атомной бомбой, взрыв которой может быть осуществлен лишь при вводе большой реактивности $\Delta K > \beta$ за очень короткое (менее 10^{-6} с) время. Такой возможности в реакторах нет, и главная часть энергии, выделяемой при аварии, это энергия, запасенная в большой массе нагретого теплоносителя, или энергия горения при пожаре. Разгон на мгновенных нейтронах является здесь лишь начальным толчком, открывающим путь к высвобождению гораздо большей аккумулированной в реакторе энергии.

радиоактивных выбросов в результате внешних воздействий (природных факторов, а также терроризма, ракетных ударов и т. п.), которую для ядерной энергетики большого масштаба игнорировать нельзя. Технология подземного строительства развивается довольно быстро, и размещение реакторов и других радиационно опасных производств под землей, на котором настаивал А. Д. Сахаров, позволит решить эту задачу.

Существует, кроме того, проблема нераспространения ядерного оружия, и ее надо решать независимо от развития ядерной энергетики, так как материал для ядерного

оружия (^{235}U) может производиться и без реакторов. Здесь необходимо сочетание национальных и международных (как законодательных, так и административных) мер с мерами физической и технической защиты.

ОДИН ИЗ ВОЗМОЖНЫХ ВАРИАНТОВ

Приведем пример, показывающий, что исключение опасных аварий — требование отнюдь не фантастическое. Этого можно добиться даже в рамках технологии, которой мы располагаем.

Уже отмечалось, что бридинг позво-

БРИДИНГ

^{238}U , поглощая нейтрон, после двух актов β -распада превращается в искусственный делящийся изотоп ^{239}Pu . Эффективность этого процесса воспроизводства ядерного горючего зависит от баланса нейтронов в цепной реакции. Отношение числа рожденных атомов Pu к числу сгоревших (коэффициент воспроизводства KB) может быть найден из условия баланса нейтронов в одном поколении:

$$\text{KB} = \nu e - 1 - 2\alpha - a.$$

Один нейтрон идет на поддержание цепной реакции, α нейтронов теряется при непроизводительном захвате нейтрона ^{239}Pu или ^{238}U , превращающимися при этом в ^{240}Pu или ^{236}U (столько же теряется делящихся ядер), a — число нейтронов, поглощенных другими компонентами реактора.

В случае тепловых нейтронов, у которых α для ^{235}U и ^{239}Pu велика, а e лишь ненамного превышает 1, KB оказывается меньше 1 (типичное значение для современных ЛВР 0,5—0,6). Лишь для ^{233}U , получающегося при поглощении нейтрона ^{232}Th , α достаточно мало, и может быть достигнут KB около 1,1 в тепловом реакторе, работающем в торий-урановом цикле. Ядерная техника началась с уран-плутониевого цикла (^{235}U — единственный природный делящийся изотоп), и на него настроен весь топливный цикл, начиная с добычи урана. Торий-урановый цикл является важным резервом ядерной энергетики при исчерпании возможностей уран-плутониевого цикла по ресурсам или безопасности.

При переходе к быстрым нейтронам α для ^{239}Pu резко падает, а в отсутствие замедлителя деление ^{238}U (т. е. величина e) растет, так что KB может быть значительно больше 1. Расширенное воспроизводство Pu (бридинг) позволяет переработать в Pu и «сжечь» в реакторах весь добываемый уран, а не 0,5—1 %, сжигаемый в тепловых реакторах, что делает урановые ресурсы ядерной энергетики практически неограниченными, так как становятся экономически приемлемыми и бедные руды. Для тепловых реакторов применима лишь ничтожная часть урановых ресурсов Земли ($\sim 10^7$ т из общего количества $\sim 10^{14}$ т). При использовании 1 % урана 10^6 т урана эквивалентны 10^{11} т угля, что много меньше ресурсов угля ($\sim 10^{13}$ т). Поэтому ядерная энергетика без бридинга не может играть большой роли (в мире сейчас расходуется 10^{10} т обычных топлив в год).

При работе реактора с тепловой мощностью 1 ГВт в течение года делится около 0,4 т Pu , а на каждое сгоревшее ядро возникает KB ядер плутония, так что избыточное количество образовавшегося плутония равно $0,4 (\text{KB} - 1)$ т/ГВт·год. Этот плутоний может быть загружен в новые быстрые реакторы, причем необходимое его количество g для реактора мощностью 1 ГВт составляет примерно 2 т/ГВт. Отношение $\omega = \frac{0,4 (\text{KB} - 1)}{g}$ определяет темп роста ядерной энергетики (или время удвоения $T_2 = \ln 2 / \omega$).

По современным представлениям, темпы роста энергетики, в том числе ядерной, будут невысокими. Поэтому вполне достаточны $T_2 \sim 20$ лет, $\text{KB} \sim 1,2$ —1,3 и топливо с умеренной энергонапряженностью, что способствует решению главной задачи — достижению безопасности.

ляет свести запас реактивности на выгорание к малым величинам. Кроме того, в быстрых реакторах отсутствует и эффект ксенонового отравления, так что в них вполне доступно снижение полного запаса реактивности до величин, меньших β . Взяв вместо натрия жидкий свинец, мы можем исключить и аварийное кипение теплоносителя (в этом случае запас до температуры кипения увеличивается почти на порядок), и его горение при контакте с воздухом и водой. Обычные опасения, что тяжелый металл гораздо труднее прокачивать через реактор, чем воду или легкий металл, неосновательны, так как малое замедление нейтронов свинцом позволяет увеличить его количество в активной зоне и сделать скорость прокачки ниже 2 м/с (вместо 7—8 м/с для натрия). Опасности, связанные с затвердением свинца (его температура плавления 327 °С против 100 °С для натрия), преодолеваются простыми техническими средствами.

Выполненные в последние годы концептуальные проработки такого реактора подтверждают его устойчивость по отношению даже к самым крайним авариям вместе с упрощением конструкции и системы управления, что позволяет рассчитывать и на его экономичность.

Конечно, создание любого нового реактора требует преодоления многих технических проблем, но в данном случае это может быть сделано в ограниченные сроки, поскольку технология предлагаемого реактора близка к освоенной в стране технологии созданных много лет назад для военных целей реакторов, охлаждаемых эвтектическим сплавом свинец—висмут. В частности, отработана и технология тяжелого теплоносителя, решены проблемы коррозии сталей в нем, найдены стойкие материалы.

Надо сказать, что вариант быстрого реактора с таким охлаждением еще много лет назад рассматривался А. И. Лейпунским, но тогда предпочтение было отдано натрию. Один из главных мотивов состоял в том, что легкий и обладающий большей теплопроводностью натрия позволяет отводить значительно больше тепла из единицы объема реактора, тем самым увеличивая энергонапряженность топлива и снижая время удвоения количества плутония. Это было данью господствовавшим тогда представлениям о необходимости быстрого развития ядерной энергетики, а также «инженерной» философии безопасности.

Теперь представления иные, мы располагаем большим опытом работы с тяжелыми теплоносителями, и такой реактор может удовлетворить главному критерию — внутренне присущей безопасности.

Намеченный здесь в самых общих чертах путь к ядерной энергетике высокой безопасности может показаться читателю подозрительно простым. Конечно, за простой идеей кроется множество достаточно трудных научных и технических проблем, которые еще предстоит решить. Но это трудности, которые встречаются в любом новом деле,—они преодолимы. Труднее преодолеть инерцию и укоренившиеся в людях стереотипы.

Достижение простоты и ясности — цель любой науки, а вслед за ней и техники. Но путь к ним лежит через преодоление множества сложностей и ошибок,обретение трудного опыта. Ядерная энергетика прошла большую часть этого пути, и для нее настала пора простоты и ясности.

Возрождается археологическое общество России

Г. В. Короткевич
Москва

15—17 ноября 1991 г. в Суздале состоялась учредительная конференция Российского археологического общества (РАО), в которой приняли участие сотрудники ведущих научных и учебных центров России, профессиональные археологи, любители отечественных древностей, представители организаций — учредителей Общества и спонсоров отдельных его программ, журналисты и научная общественность. На конференции утвержден устав общества, избраны его руководящие органы. Усилиями сотрудников Института археологии АН СССР и Государственного Исторического музея была подготовлена экспозиция документов и фотографий, посвященная истории Императорского Русского археологического общества (первоначально — Археолого-нумизматического, утвержденного в этом статусе в мае 1846 г.) и Московского археологического общества, созданного в сентябре 1864 г.

Русское археологическое общество сыграло выдающуюся роль в изучении и сохранении отечественных древностей. Хотя поначалу оно объединяло в основном нумизматов, постепенно в сфере его интересов оказались древности различных эпох и культур — от скифских курганов до памятников церковной старины. Общество организовало выпуск первых своих периодических изданий — «Записок» и «Известий»; на его средства осуществлялась публикация фундаментальных трудов по археологии, истории и древнерусскому искусству; оно стремилось наладить учет и охрану памятников старины, вело реставрацию и копирование предметов средневекового искусства, финансировало археологические раскопки.



Исключительную роль в становлении археологической науки и сохранении древностей в России сыграло также Московское археологическое общество (МАО). Инициатором его создания и председателем в течение первых 18 лет был один из основоположников отечественной археологии граф А. С. Уваров. Одну из главных задач Общества он видел в «возбуждении сочувствия к остаткам старины русской, к разработке разных вопросов, касающихся произведений русского духа, русского искусства и к уничтожению среди общей массы народонаселения равнодушия к этим произведениям». Личная энергия работавших в МАО ученых, значительные финансовые средства, предоставляемые

А. С. Уваровым, и демократическая организация Общества способствовали превращению его в наиболее авторитетное археологическое учреждение России. МАО выпустило в свет около 200 книг по археологии; регулярно издавало «Труды» Общества и его съездов, где печатались такие выдающиеся ученые, как И. Е. Забелин, Д. Н. Анучин, Ф. И. Буслаев, Д. Я. Сомов, В. Б. Антонович, Н. П. Кондаков, И. И. Срезневский. Пятнадцать археологических съездов, проведенных в различных городах Российской империи и предвалявшихся широкими археологическими раскопками в регионах, дали мощный импульс для развития местной науки.

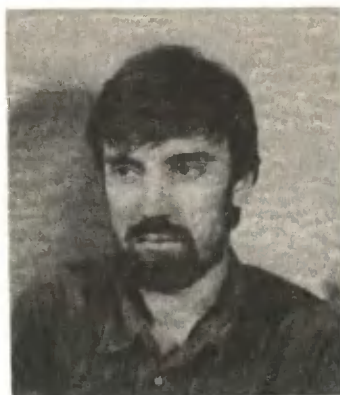
Императорское Русское археологическое общество прекратило свое существование в 1917 г., а Московское распалось в 1923 г.

Возрождаемое общество российских археологов ставит своей целью: всемерное содействие удовлетворению общественного интереса к отечественным древностям и археологической науке, популяризацию находок и открытий; содействие охране, сбережению, изучению и пропаганде отечественного археологического наследия (как памятников, так и предметов древности, хранящихся в музейных собраниях или у частных лиц); мобилизацию широких кругов общественности на поддержку развития отечественной археологической науки.

От имени участников учредительной конференции было направлено Обращение в Верховный Совет России, в котором ставится вопрос о необходимости срочного урегулирования законодательства о приватизации земель, на которых могут находиться археологические памятники.

Сверхизменчивая ДНК

Е. И. Рогов



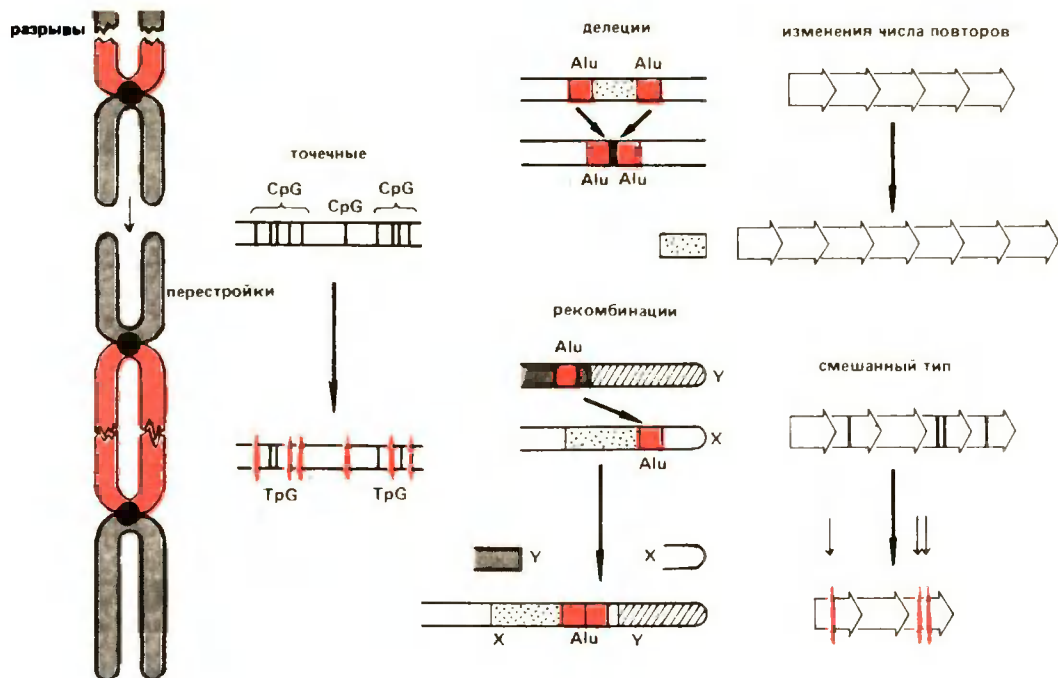
Евгений Иванович Рогов, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией молекулярной генетики мозга Всесоюзного научного центра психического здоровья АМН. Область научных интересов — структура и эволюция генома, молекулярно-генетические исследования наследственных болезней и патологий мозга, конструирование и применение маркеров ДНК для генотипирования живых организмов.

ГЛАВНОЕ свойство геномной ДНК — способность точно воспроизводиться в ряду поколений, благодаря чему обеспечивается преемственность признаков в истории всех живых организмов. Считалось, что мутации (изменения наследственной информации в ДНК) обычно крайне редки. Накапливаясь медленно и постепенно, они приводят к существенным различиям в структуре «слов» и «предложений» ДНК только у разных видов, разошедших миллионы лет назад. Внутривидовые же различия ДНК (полиморфизм) у особей одного и того же вида, как полагали, незначительны. Так, сравнением случайных нуклеотидных последовательностей ДНК показано, что в среднем 99 из каждых 100 пар нуклеотидов у двух любых людей одинаковы.

Более того, даже у разных видов, если они находятся в близком филогенетическом родстве, например человека и высших обезьян, цепочки нуклеотидов ДНК очень похожи: разница в некоторых кодирующих генах человека и шимпанзе столь мала (до 1 %), что стали даже говорить о замедлении мутационной изменчивости генов в эволюции человека.

До сих пор догмой эволюционной биологии остается совершенно случайный характер мутаций. Однако же в 20-х годах в своей знаменитой концепции номогенеза Л. С. Берг высказал иную точку зрения — о направленном характере изменчивости. Молекулярной основой такой изменчивости, по его мнению, могут служить некие особенности «стехиометрического строения белков». Более отвлеченную форму носит высказывание математика М. Эрмита: «Мне кажется, что числа существуют вне нас и оказывают на нас столь же неизбежное и необходимое влияние, как натрий и калий». Хотя, пожалуй, он зашел слишком далеко; следует заметить, что в геноме можно найти структуры, определяющие уже только своей «формой» наиболее вероятные типы собственных мутаций.

Исследования последних лет существенно повлияли на представления об изменчивости генома. Во-первых, появилось множество данных о неравномерной часто-



Различные типы геномных мутаций.

те мутаций в различных участках генома. Во-вторых, обнаружена сверхизменчивость (гипервариабельность) геномной ДНК — участки ДНК с поразительно широким полиморфизмом.

Неравномерную мутабельность отдельных компонентов генома можно наблюдать на разных уровнях организации генома. Согласно иерархическому принципу его структуры, все мутации можно разделить на несколько типов: хромосомные (разрывы, аномалии и изменения числа хромосом), в которые вовлечены сегменты ДНК, содержащие сотни тысяч и миллионы пар нуклеотидов; точечные (изменения, касающиеся лишь пары нуклеотидов); инсерции (вставки) и делеции (выпадения) участков ДНК; переменность по числу tandemных повторов ДНК (ВЧТП), или гипервариабельность генома. В инсерции, делеции и гипервариабельности вовлечены от нескольких пар до десятков тысяч пар нуклеотидов.

ХРОМОСОМНЫЕ МУТАЦИИ

Наиболее частое заболевание человека, связанное с изменением числа хромосом, — синдром Дауна (трисомия 21-й хромосомы) — один-два случая на 1 тыс. но-

ворожденных; поскольку часть аномальных плодов выбраковывается еще на ранних стадиях развития плода, то реальная частота этой аномалии еще выше.

Патологии, обусловленные вариациями числа других неполовых (аутосомных) хромосом, крайне редки. Повышенная частота трисомий по 21-й хромосоме может быть вызвана несовместимостью с жизнью других аутосомных трисомий, что проявляется уже на ранних стадиях внутриутробного развития.

Менее косвенной является информация о существовании «горячих точек» в хромосомах человека, для которых наблюдается повышенная частота разрывов в культивируемых клетках.

Риск разрывов для различных «горячих точек» неодинаков. Наиболее «ломкая» точка, описанная еще в 1968 г., располагается в хромосоме 3 (3p14). Хорошим примером направленной групповой изменчивости на клеточном уровне может служить 100 %-ная вероятность перестроек 2p14-локуса в лимфоцитах, растущих в среде, обработанной мутагеном. Другой пример — повышенная ломкость длинного плеча X-хромосомы (эта мутация нередко сопряжена с формой умственной отсталости — детским аутизмом). Ломкость по конкретным точкам зависит не только от природы повреждающего агента, но и от других, например физиологических, факторов. Так, у беремен-

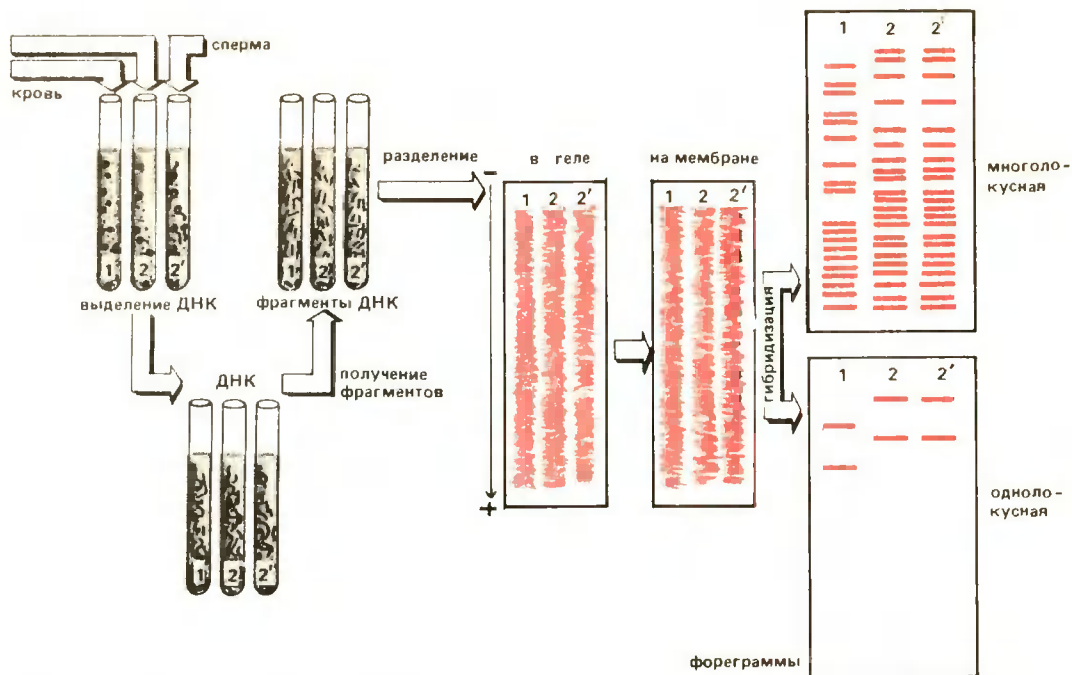


Схема выявления гипервариабельных участков ДНК. Из биологического материала (кровь, сперма и др.) выделяют ДНК, затем с помощью специального фермента (рестриктазы) разрезают ее на фрагменты. Под действием электрического поля (электрофорез) фрагменты разделяют по размерам в геле и переносят на мембраны. Многополосный или однопосный гипервариабельный маркер накладывают на мембрану, гибридизуют в солевом растворе с ДНК сравниваемых индивидов. В результате на фореграммах проявляются индивидуальные отпечатки ДНК. 1 — кровь первого человека, 2 — кровь второго, 2' — его же сперма.

отдельные нуклеотиды также отличаются повышенной изменчивостью. Так, в геноме позвоночных динуклеотид цитозин-гуанин (СрG) — наиболее «горячая точка» мутабельности. У человека частота мутаций в таких точках в три-шесть раз выше, чем в других дуплетах нуклеотидов. Более того, в генах человека мутационная замена СрG на ТрG (тимин-гуанин) происходит в 32 раза чаще, чем можно было ожидать для случайной мутации.

У женщин это хромосомное нарушение встречается чаще, чем у небеременных или мужчин. Хотя данные о «горячих точках» получены в основном на культивируемых клетках *in vitro*, известны болезни (синдром Блума, анемия Фанкони и др.), при которых спонтанные хромосомные перестройки у больных возникают в конкретных хромосомных локусах.

Скорее всего, предрасположенность точек к разрывам зависит от особенностей структуры ДНК в них. Не исключено, что в районах «горячих точек» содержатся гомополимерные или тандемно повторяющиеся последовательности нуклеотидов.

ТОЧЕЧНЫЕ МУТАЦИИ

На более тонком уровне организации генома — в первичной структуре ДНК —

Вероятно, такие мутации возникают потому, что динуклеотид СрG служит основной мишенью метилирования ДНК человека и других позвоночных, а при спонтанной потере аминогруппы (дезаминировании) превращается в ТрG. Таким образом, обратимое модифицированное (метилированное) состояние ДНК переходит в необратимое — мутационное.

В общем же точечный полиморфизм геномной ДНК не слишком высок: у человека в среднем одна замена на 100—250 пар нуклеотидов неполовых хромосом и еще меньше для X-хромосомы.

ИНСЕРЦИИ И ДЕЛЕЦИИ

Последние 10 лет генетики проявили большой интерес к различным повторяющимся последовательностям ДНК человека. Он был вызван в значительной степени сле-

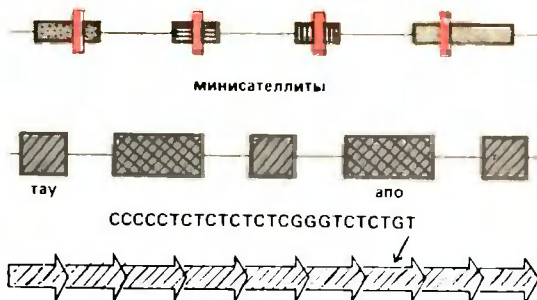
дующим вопросом: не являются ли некоторые повторы ДНК «эгоистическими» или «паразитическими» элементами, нестабильность которых в геноме может способствовать внутривидовому полиморфизму. В конце 70-х годов в ДНК некоторых беспозвоночных был описан особый класс повторяющихся последовательностей нуклеотидов (повторы), названный мобильными генетическими элементами. Одичные копии этих элементов способны перемещаться и встраиваться в разные участки генома, вызывая существенный внутривидовой полиморфизм генетических локусов в виде инсерций или делеций¹. Экстраполяция подобных эффектов на геном млекопитающих не выявила, однако, полной аналогии. Хотя в последние годы обнаружены случаи перемещений рассеянных коротких и длинных повторов ДНК в лимфоидных клетках, клеточных линиях или при некоторых генетических болезнях, такие мутации редки.

Чаще инсерции и делеции реализуются в геноме человека по совершенно иному механизму — рекомбинацией между соседними копиями повторов, рассеянных в геноме. Наиболее впечатляющие данные в этом плане были получены для мутаций генов, связанных с развитием генетических болезней. Так, перестройки ДНК в районах генов аполипопротеина А, гена рецептора липопротеина низкой плотности (гиперхолестеринемия, ведущая к атеросклерозу), β-глобиновом кластере генов (талассемия), X- и Y-хромосомах с перемещением полового фактора на X-хромосому (нарушение полового развития) обусловлены рекомбинацией между «вездесущими» копиями коротких (300 пар нуклеотидов) Alu-повторов ДНК человека².

Все перечисленные типы мутаций могут вызывать полиморфизм ДНК, который выявляется обычно только в виде двух вариантов диаллельного полиморфизма. Новый бум в изучении полиморфизма ДНК начался с обнаружением гипервариабельных участков, обеспечивающих многовариантную (полиаллельную) структуру популяции.

ГИПЕРВАРИАБЕЛЬНОСТЬ ГЕНОМА

Впервые о существовании в ДНК человека участков с полиаллельной структурой стало известно в начале 80-х годов. При сравнении ДНК некоторых людей вблизи



Гипервариабельные элементы ДНК: минисателлиты с небольшим общим кор-участком и тау и апо повторы, имеющие копии в разных местах генома. Внизу — нуклеотидная последовательность одного из тау-фрагментов.

генов инсулина, L-глобинов, одного из онкогенов (C—H-ras) и в участке ДНК с неизвестными функциями были обнаружены различия, превышающие обычную мутационную изменчивость³. В середине 80-х годов А. Джеффрис и его коллеги из Лестерского университета (Великобритания), изучая структуру миоглобинового гена, обратили внимание на четыре повтора, каждый размером 33 пары нуклеотидов, расположенных тандемами (друг за другом) в некодирующем участке гена — интроне. Аналогичные кластеры, названные минисателлитами, были обнаружены и в других участках генома на разных хромосомах.

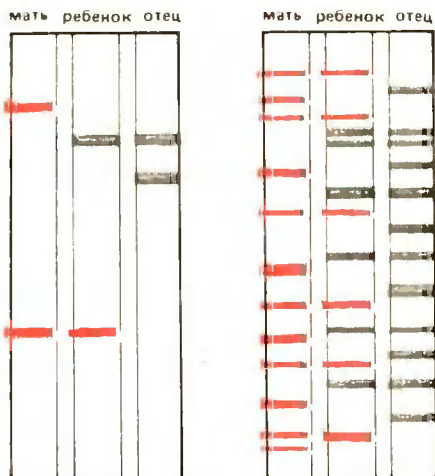
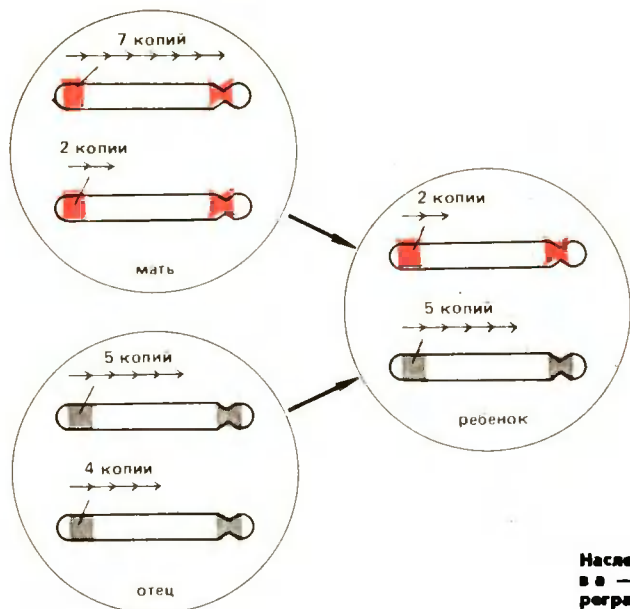
Самым неожиданным стало то, что маркеры ДНК, сконструированные на основе минисателлитов, гибридизовались (связывались по принципу комплементарного сходства нуклеотидной последовательности) сразу с десятками участков ДНК, выявляя при этом ее широкий полиморфизм у разных людей. Общий «узор» структуры минисателлитных районов каждого человека оказался настолько индивидуальным, что было предложено использовать эти маркеры для определения личности по ДНК, подобно «отпечаткам пальцев». Интересно, что сама нуклеотидная последовательность и длина повторяющейся единицы минисателлитов в разных кластерах различалась (от 16 до 64 пар нуклеотидов). Общим у всех минисателлитов оказался лишь один так называемый «кор»-участок (14 пар нуклеотидов), который имел небольшое сходство с рекомбинационным сигналом в ДНК бактерий (Chi-участком), стимулирующим перестройки ДНК кишечной палочки⁴. Английские ученые

¹ Георгиев Г. П. // Журн. Всесоюз. хим. о-ва им. Д. И. Менделеева. 1984. Т. 2. С. 47—50.

² Rouyer F. et al. // Cell. 1987. V. 51. P. 417—425.

³ Wyman A. R., White R. // Proc. Nat. Acad. Sci. 1980. V. 77. P. 6754—6758.

⁴ Jeffreys A. et al. // Nature. 1985. V. 314. P. 67—73; v. 316. P. 76—79.



Наследование гипervарибельных элементов. Справа — одно- и многолокусный «портреты ДНК» (фотограммы).

считают, что подобное сходство неслучайно и кор-участок также способствует перестройкам ДНК у человека.

В независимых исследованиях у нас в стране были обнаружены совершенно иные по генетическому коду участки гипervарибельной ДНК, названные тау и апо. В отличие от минисателлитов, сходных между собой только по одному кор-участку, эти повторы представляют собой истинные семейства, так как имеют идентичные или очень сходные по длине и структуре копии в разных кластерах в различных районах генома⁵.

В настоящее время в ряде лабораторий мира накоплены гипervарибельные маркеры, которые выявляют один или сразу несколько хромосомных локусов с полиаллельным полиморфизмом⁶. Степень полиморфизма отдельных локусов существенно различается. Один из них может иметь не

более трех, а другой свыше 60 отличающихся по структуре аллелей в популяции человека. Выявляя совокупность этих локусов, можно получить индивидуальные «отпечатки ДНК» с вероятностью совпадения их узора у неродственных людей менее 10⁻¹⁵. Какова же природа гипervарибельности ДНК?

Во всех описанных случаях гипervарибельные участки состоят из tandemно повторяющихся элементов ДНК. В одном и том же гомологичном участке генома их число у разных людей может колебаться от двух до многих тысяч. Возникает вопрос: является ли гипervарибельная ДНК «геномной экзотикой» или это распространенное свойство генома? Сейчас становится ясно: верно второе. Гипervарибельные миниповторы ДНК приурочены к концам (теломерам) хромосом человека, причем их тысячи. При анализе других участков хромосом (прицентромерных) также найдена гипervарибельность в длинных кластерах tandemных повторов ДНК. Наконец, было обнаружено, что простейшие tandemные повторы двух или одного нуклеотидов — (TG)_n (TC)_n и (AT)_n или (A)_n рассеянные по всей длине хромосом (их общее число в геноме человека превышает миллион), также отличаются по числу копий. Кроме того, установлено, что гомологичные гены, расположенные в хромосоме друг за другом, тоже характеризуются повышенным полиморфизмом. Наи-

⁵ Рогов Е. И., Шапиро Ю. А. // Бюлл. эксперим. биологии и медицины. 1987. № 7. С. 57—58; Рогов Е. И. // Докл. АН СССР. 1988. Т. 302. № 7. С. 324—328; Рогов Е. И. // Nucl. Acids Res. 1990. V. 18. P. 1879—1886.

⁶ Rogaev E. I. et al. // First International Conference on DNA fingerprinting. Bern, 1990. P. 43, 46—48, 52; Rogaev E. I., Korovaitseva L. I., Shlensky A. B. et al. // Fingerprint News. 1991. V. 3. P. 11—15; Eppelen J. et al. // First International Conference on DNA fingerprinting. Bern, 1990. P. 14; Wong Z. et al. // Ann. Hum. Genetics. 1987. V. 51. P. 269—288; Nakamura Y. et al. // Science. 1987. V. 235. P. 1616—1622.

более убедительный пример — гены цветовой слепоты, расположенные tandemно в кластере на X-хромосоме. Разные формы дальтонизма, как оказалось, обусловлены перестройками или потерями копий генов в этих тандемах⁷.

Таким образом, можно смело утверждать: гипервариабелен весь геном! Подобная насыщенность генома сверхизменчивыми участками весьма загадочна. Такие участки обнаружены не только у человека, но и у всех исследованных живых существ: микробов, растений, простейших и позвоночных. Более того, самые разные гипервариабельные миниповторы сходны у филогенетически далеких организмов. Так, участки бактериальных вирусов M13 и FD сходны с гипервариабельными участками ДНК человека⁸.

Как известно, безуспешные попытки создать вакцину против смертельного врага человека — вируса ВИЧ, связаны с уникальнейшей способностью этого вируса менять свое «лицо» — генетическую природу. Но ведь такая сверхизменчивость характерна и для гипервариабельных участков ДНК человека! Исходя из этого, мы предположили, что в геноме ретровируса ВИЧ-1 могут сохраняться вариабельные элементы, подобные элементам ДНК человека. Для проверки этой гипотезы в нашей лаборатории были поставлены эксперименты. Синтезировав высокоизменчивые участки генома вируса, а затем в специальных условиях проведя их гибридизацию с ДНК человека, мы впервые обнаружили специфическое связывание участков ДНК вируса СПИДа с ДНК человека. Поскольку гибридизироваться могут только фрагменты, идентичные друг другу по генетическому коду, опыт доказал сходство участков ВИЧ и гипервариабельных районов ДНК человека.

Это значит, что все нормальные люди, не болеющие СПИДом, имеют множество районов в молекулах хромосомной ДНК, аналогичных простым элементам ДНК вируса⁹. Генно-инженерным путем удалось клонировать и расшифровать первичную структуру некоторых таких районов, что подтвердило высокое сходство генетических кодов сверхизменчивых районов ДНК вируса ВИЧ-1 и человека. Чем же объяснить этот факт?

Один из типов обнаруженных элемен-

тов представляет собой повторы семи-восемью пар нуклеотидов у человека и 12 пар нуклеотидов у ВИЧ-1. Такие «простые» повторы ДНК вполне могли возникнуть в эволюции у вируса и человека независимо. Высокое же сходство другого типа расшифрованных элементов (повторы ДНК длиной 36 пар нуклеотидов) может свидетельствовать о «древнем» контакте предка человека с вирусом СПИДа. Тогда вирус мог «заимствовать» сверхизменчивые элементы ДНК у человекообразного предка. Интересно, что гипервариабельные элементы ВИЧ схожи с участками HLA, т. е. генов, ответственных за иммунитет, как раз и нарушаемый при инфекции вирусом.

Самым важным в этом исследовании оказалось то, что на основе элементов ДНК вируса удалось сконструировать маркеры, выявляющие индивидуальные для каждого человека «узоры» ДНК. Более того, с помощью таких маркеров можно обнаружить видоспецифичный участок ДНК, характерный только для человека.

Каково же фундаментальное значение гипервариабельной ДНК? Во-первых, выяснено, что геном насыщен нестабильными участками ДНК. Главный источник гипервариабельности ДНК у человека — кластеры коротких tandemно повторяющихся элементов, имеющих разный генетический код и независимое происхождение. Вероятно, формальный признак — tandemный характер структуры организации — служит достаточным условием вариабельности этих элементов, а присутствие же в них точек рекомбинации (например, Chi-сайта) может еще усилить их нестабильность. Необычная эволюционная консервативность генетического кода некоторых гипервариабельных элементов ДНК может иметь разные объяснения. Одна из аксиом биологии — важное функциональное значение эволюционно-консервативных участков ДНК. Вариабельные tandemные повторы нередко обнаруживают вблизи работающих генов. Если предпо-

Сверхизменчивые компоненты в фундаментальных исследованиях

Структура гипервариабельных участков
Геномная и хромосомная топология
Механизмы рекомбинации
Количество и разнообразие типов в геноме
Роль в микроэволюции генома и фенотипа
Универсальность в различных геномах
Роль в функционировании генома и генов

⁷ Vollrath D. et al. // Science. 1988. V. 240. P. 1669—1672.

⁸ Vassart G. et al. // Science. 1987. V. 235. P. 663—685; Rogaev E. I., Shlensky A. B. // Nucl. Acids Res. 1989. V. 18. P. 1081.

⁹ Рогов Е. И., Шленский А. Б. // Бюл. эксп. биологии и медицины. 1990. Т. 110. № 12. С. 1712—1714.

жить регулярную роль этих участков, то разное число их копий вблизи одних и тех же генов у разных людей, возможно, обеспечивает широкое индивидуальное разнообразие в активности генов и адаптационной пластичности генофонда человека. Вариант, альтернативный функциональному, заключается в том, что гипервариабельные элементы — это структуры, эффективные для размножения в геномах, как «молекулярные паразиты». А сходные по «коду» простые элементы, способные к «эгоистическому» самопроизводству, могут возникать независимо в геномах разных таксонов.

ГЕННАЯ ДАКТИЛОСКОПИЯ

Самое, конечно, волнующее следствие нестабильности гипервариабельных элементов — их уникальная структурная организация в геноме, что выявляется в виде индивидуальных «узоров» ДНК. Как своеобразные маркеры, гипервариабельные элементы ДНК, клонированные генно-инженерным способом, позволяют отличить друг от друга молекулы ДНК любых людей. А так как молекулы ДНК (в том числе и гипервариабельные элементы) присутствуют в клетках любых органов и частей тела, то впервые открылась возможность индивидуального отождествления большинства биологических субстратов в криминалистике. Наконец, еще одно — и, может быть, самое главное — достоинство этого метода — способность точно устанавливать отцовство или материнство, что до сих пор было невозможно имеющимися биологическими методами. С помощью клонированных tandemных повторов удается также определять видовую и половую принадлежность клеточного материала.

Метод идентификации вида, пола, личности, отцовства или материнства по «отпечаткам» ДНК можно назвать генотипоскопией или, более образно, генной дактилоскопией, либо «ДНК-отпечатками». Следует лишь заметить, что сами по себе индивидуальные гипервариабельные районы ДНК скорее всего не имеют никакого генетического отношения к признаку узора папиллярных линий на пальцах.

Первые такие идентификации в гражданском и уголовном делах у нас в стране были проведены сотрудниками лаборатории молекулярной генетики мозга Всесоюзного научного центра психического здоровья АМН еще в 1987—1988 гг., когда в суде впервые были приняты заключения по «отпечаткам ДНК». В 1988 г. суды Великобритании получили разрешение на экспертизы по ДНК.



Идентификация личности по отпечаткам ДНК и пальцев. Идентичность лестницы фрагментов ДНК в образцах крови X и Y на многополосной фореграмме (как и одинаковые отпечатки пальцев) свидетельствует, что оба образца принадлежат одному и тому же лицу. Для сравнения даны отпечатки ДНК случайного человека [Z].

В большинстве штатов США уже рассмотрены сотни дел по «отпечаткам ДНК» при расследовании тяжелых преступлений против личности. В нашей лаборатории совместно с сотрудниками Всесоюзного научно-криминалистического центра проведен ряд уникальных экспертиз в случаях, связанных с изнасилованиями, покушениями на убийство и установлением отцовства.

Однако на пути широкого внедрения генотипоскопии существуют препятствия. Ахиллесова пята метода — разрушение ДНК в биологических следах на вещественных доказательствах и загрязнение таких следов микроорганизмами и веществами органической и неорганической природы. А сложность получения безапелляционного, с юри-

дической точки зрения, ответа на вопрос об отцовстве и личности требует разработки стандартных критериев достоверности. С первых экспертиз, проводимых у нас в стране, в каждом случае мы обязательно использовали несколько маркеров ДНК, рассчитывая вероятности случайного совпадения «узоров ДНК». С недавних пор в экспертных службах США также обязательно применяют несколько маркеров для ДНК-идентификаций. Уже сейчас генетический метод полностью готов заменить все устаревшие способы установления отцовства. Для его широкого внедрения необходимы «лишь» квалифицированные специалисты, соблюдение юридических прав на патентованные маркеры ДНК и, наконец, целевое финансирование развития технологии.

С использованием всех известных ранее маркерных биохимических и иммунологических систем возможна идентификация отцовства с вероятностью случайного совпадения признаков отца и ребенка около 0,3 %. В реальной судебной практике и такое значение достигается редко: обычен обтекаемый ответ — отцовство исключается или не исключается. Точность ДНК-генотипоскопии выше традиционных методов более чем на четыре порядка (вероятность случайного совпадения меньше 10^{-7}) и позволяет сделать однозначный вывод.

Сверхизменчивые компоненты
для видовой, половой, индивидуальной
идентификации генотипов

СУДЕБНАЯ МЕДИЦИНА

Родительство
Спорные случаи отцовства
Степень родства

КРИМИНАЛИСТИКА

Вид и пол по биологическим следам
Принадлежность биологических следов
подозреваемому или жертве
Принадлежность различных частей тела
одному лицу или разным
Отцовство в отношении ребенка или выкидыша
Принадлежность биологических следов на
месте преступления одному лицу или
нескольким
Опознание жертвы или преступника генотипированием предполагаемых родственников
Создание криминалистического банка
ДНК-отпечатков

ПОПУЛЯЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Геносистематика устанавливает родство и эволюционный возраст видов по «молекулярным часам», т. е. скорости накопления генных точечных мутаций. Обширный внутривидовой полиморфизм гипервариабельной ДНК позволяет создать «молекулярный секундомер», определяющий степень родства внутри вида.

При создании корректного математического аппарата для обработки обширных статистических данных по «индивидуальным отпечаткам» ДНК можно будет устанавливать и менее тесное, чем первого порядка (родители, братья, сестры), родство. Это поможет изучению миграций населения, генеалогических и этнических связей в разных популяциях и группах людей.

Определение генетического родства крайне важно и в генетике животных, растений и микроорганизмов. Точный диагноз отцовства необходим в селекции декоративных и сельскохозяйственных животных, в коммерческом животноводстве. В исследованиях диких животных генотипоскопия поможет изучить происхождение подвидов, генетическую структуру популяции, половое поведение животных. Так, английские исследователи, определяя структуру популяций домовых воробьев, живущих в окрестностях городов, использовали «минисателлиты» А. Джеффриса. Неожиданно обнаружилось, что в ряде гнезд встречаются птенцы, явно отличающиеся от родителей по «узорам ДНК». Для одного из таких «незаконнорожденных» при анализе «отпечатков ДНК» птица из колонии удалось найти настоящего «папу». «Отпечатки ДНК» свидетельствуют о весьма вольных нравах английских воробьев: смене колоний и брачных партнеров в зависимости от сезона, образовании кровнородственных брачных пар и т. д.

Гипервариабельные маркеры
в популяционных исследованиях человека

МОНИТОРИНГ СПОНТАННЫХ МУТАЦИЙ

Генетическая структура популяции
Внутрипопуляционное и межпопуляционное родство
Генетический дрейф и геногеография
Миграция
Мониторинг спонтанных мутаций

Сверхизменчивые компоненты в генетике животных

ДОМАШНИЕ ЖИВОТНЫЕ

Сцепление генетических локусов продуктивности или экстерьера
Зиготность в помете
Генотипы ценных производителей
Чистота породы, сорта, линии
Чистота семени производителя
Родство в межпородных и внутрипородных скрещиваниях

ДИКИЕ ЖИВОТНЫЕ

Внутригрупповое и межгрупповое родство
Половые взаимоотношения у стайных и стадных животных
Отцовство/материнство. Поиск отца в популяции
Генетическое родство потомства одного помета или гнездования
Генотипы охраняемых животных
Миграционные исследования
Тип размножения (половое / бесполовое)

МЕДИЦИНСКАЯ ГЕНЕТИКА

Оценка «химеризма» клеточных популяций с разным генотипом при помощи гипервариабельных маркеров дает возможность контролировать эффективность прививания чужеродных клеток при пересадке тканей, например костного мозга, от одного человека к другому.

Идентичность гипервариабельных маркеров у однояйцевых (монозиготных) близнецов и различие у двуяйцевых (дизиготных) позволяет определять зиготность близнецов еще на эмбриональной стадии, до заложения папиллярных линий на пальцах, или, наоборот, в позднем возрасте, когда внешность близнецов неузнаваемо изменилась. Мы, например, доказали по «отпечат-

кам ДНК» однояйцевость двух пожилых близнецов, у одного из которых развивалось прогрессирующее слабоумие (болезнь Альцгеймера). Часто это крайне важно для правильного медико-генетического исследования и диагностики.

Гипервариабельные маркеры можно использовать также для картирования хромосомных перестроек в опухолях при спонтанных выкидышах, определения уровня спонтанных мутаций в популяции. Наконец, это лучший инструмент для картирования генома человека и поиска сцепления хромосомных локусов с генами наследственных болезней (принцип «обратной генетики»), для которых неизвестна биохимическая природа дефектов. Такие работы ведутся сейчас во многих лабораториях мира для лечения различных генетических болезней, как широко распространенных — диабета, шизофрении, болезни Альцгеймера, так и более редких — например, катаракты, атаксии Фрейдриха.

Сверхизменчивые компоненты в генетике человека

МЕДИЦИНСКАЯ ГЕНЕТИКА

Сцепление дефектных локусов
Зиготность близнецов
Родительство
Происхождение генов (отцовское или материнское)

МЕДИЦИНА

Генетические аномалии выкидышей
Химеризм клеток в трансплантологии
Соматические мутации при генетических заболеваниях, перестройки генома в опухолях

Химические аварии

Г. И. Оксенгендлер



Гдаль Иосифович Оксенгендлер, кандидат медицинских наук, доцент, районный токсиколог Выборгского района Санкт-Петербурга. Область научных интересов — вопросы химической безопасности и биохимические механизмы действия токсичных веществ. Занимается изучением влияния токсичных веществ на организм. Автор книг и учебных пособий: Противоядия при бытовых, производственных и лекарственных отравлениях (совместно с Б. А. Фурсовым). Л., 1978; Антидоты высокотоксичных веществ, Л., 1979; Яды и противоядия. Л., 1982; Человек и противooksидлительные вещества (совместно с Ж. И. Абрамовой). Л., 1985; Яды и организм: проблемы химической безопасности. Л., 1991; и др. Неоднократно печатался в «Природе» (1973, № 4; 1980, № 3; 1982, № 6; 1983, № 12).

В РАЗВИТЫХ странах токсичные вещества (ТВ), широко используемые в производстве, нередко становятся источником групповых и массовых отравлений людей при авариях на производстве, транспорте и в хранилищах. При этом во внешнюю среду попадают как исходные и промежуточные компоненты производства, так и конечная продукция и отходы, что создает прямую угрозу жизни и здоровью людей. Тогда говорят о катастрофе — явлении с трагическими, непоправимыми последствиями. Не всякая авария приводит к катастрофе, но причиной катастрофы, как правило, является авария.

ТОКСИЧНЫЕ ВЕЩЕСТВА КАК ИСТОЧНИКИ ОПАСНОСТИ

Биологические эффекты «промышленных» ядов принято группировать по ведущему синдрому, характерному для соответствующей интоксикации¹. Так, аммиак, фосген, хлор, трихлорид фосфора, пары серной кислоты — удушающего и одновременно прижигающего действия; окись углерода, синильная кислота, динитрофенол, диоксин — общедовитого действия; фосфорорганические соединения, сероуглерод — нейротропные (поражающие нервную систему) яды. Несмотря на определенную условность, такое деление токсичных веществ прежде всего позволяет разрабатывать меры максимально действенной профилактики поражений, а также неотложной помощи и лечения людей, получивших отравление. Одновременно знание физико-химических свойств наиболее распространенных ТВ дает возможность прогнозировать методы обеззараживания объектов, попавших в зону аварии.

Естественно, особую опасность представляет даже кратковременный контакт с соединениями, относящимися к высоко- и чрезвычайно токсичным веществам. Их ингаляционное действие при концентрациях в воздухе соответственно не более 20 мг/л и

¹ Саватеев Н. В., Бонитенко Ю. Ю., Куценко С. А. // Воен-мед. журн. 1989. № 12. С. 31—34.

5 мг/л в течение нескольких минут вызывает тяжелое отравление или даже смерть.

Если ТВ выходят за пределы промышленного объекта, возникают очаги химического заражения, подчас охватывающие значительные территории. В них обычно выделяют четыре зоны, формирующиеся по направлению ветра и различающиеся по степени опасности, которая зависит от вида вещества и его концентрации. Важной характеристикой очагов служит стойкость заражения, определяемая временем самообезвреживания вещества.

Если ТВ быстро испаряются, то, естественно, их стойкость на местности невелика. Это, например, сжиженный аммиак, пары которого легче воздуха и уже через 30—40 мин. разносятся в атмосфере на несколько километров от места выброса. Для веществ с высокой температурой кипения (сероуглерод, трихлорид фосфора) стойкость заражения составляет несколько часов, и в поражающих концентрациях они при безветрии распространяются лишь на сотни метров. При этом большую опасность создает состояние инверсии, когда температура приземного слоя атмосферы и почвы ниже, чем верхнего. Длительному сохранению очага химического заражения способствует также изотермия, когда температура воздуха на высоте до 2 м почти не отличается от температуры почвы. В холодное время размеры химического очага зависят в основном от степени изотермии и инверсии, а в теплое — от скорости и направления ветра. Так, увеличение скорости ветра в два раза при температуре 20 °С способствует разбавлению летучих ТВ в двукратном объеме воздуха. Еще пример: в условиях городской застройки при аварии емкости с 10 т аммиака при инверсии, скорости ветра 1 м/с и температуре воздуха 10 °С газ в опасных для человека концентрациях распространится на 700 м. В тех же условиях облако хлора (значительно тяжелее воздуха) менее чем за 2 час. переместится по направлению ветра на 6,3 км.

Метод ориентировочного прогнозирования последствий аварий с выбросами летучих токсичных жидкостей позволяет рассчитывать площадь поражения². Она, как установлено, зависит не только от количества выброшенного вещества, но и от величины его поверхностного натяжения: $S=19-0,5\gamma+1,7V$, где S — площадь выброса или испарения вещества, см²; V — объем проли-

того вещества, мл; γ — величина поверхностного натяжения, г/см · с². Зная скорость испарения вещества J , можно определить мощность Q источника выделения вредных примесей при аварийных выбросах: $Q=J \cdot S$, а также установить длительность свободного испарения вещества, т. е. время существования опасного ингаляционного воздействия: $t=Vd/Q$, где t — время испарения, с; d — плотность вещества, мг/см³. Количественным критерием химической опасности на месте аварии считают среднесмертельную концентрацию CL_{50} и пороговую концентрацию острого действия Lim_{ac} , ориентируясь на которые можно определить зоны смертельного и острого отравлений и разработать необходимые меры борьбы с последствиями аварии³.

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что ликвидация последствий химических аварий проводится в условиях, когда концентрация опасных веществ заведомо превышает допустимую. К тому же реальные возможности использовать индивидуальные средства защиты обычно весьма ограничены. Это побудило регламентировать максимально допустимые концентрации (МДК) химических веществ в воздухе, при которых гарантируются жизнь и здоровье людей, а также их способность бороться с аварией. При этом допускают обратимое (до 30 %) снижение работоспособности при отсутствии клинических симптомов интоксикации⁴. Так, МДК оксида углерода при 10-минутном воздействии составляет 600 мг/м³, а при 60-минутном — 200 мг/м³.

Опасность массированного химического воздействия на незащищенных людей возникает при пожарах, землетрясениях, наводнениях, ураганах и других стихийных бедствиях, когда повреждаются и разрушаются системы перемещения и хранения ТВ, в том числе заглубленных и подземных емкостей⁵. Обширные зоны (очаги) химического заражения возникают и при нанесении удара по крупному химическому предприятию или складу.

³ Среднесмертельная концентрация (доза) ядовитого вещества — такое его количество, которое вызывает гибель 50 % опытных животных. Пороговая концентрация — наименьшее количество, вызывающее при однократном воздействии явные, но обратимые изменения в организме.

⁴ Ильин Л. А., Куценко С. А., Саватеев Н. В. и др. // Журн. Всесоюз. хим. о-ва им. Д. И. Менделеева. 1990. Т. 35. № 4. С. 40—47.

⁵ К примеру, в США в 1985 г. насчитывалось до 1,5 млн. подземных хранилищ, из которых около 2 тыс. содержали особо опасные для человека соединения.

² Заугольников С. Д., Кочанов М. М., Лойт А. О., Ставичинский И. И. Экспрессные методы определения токсичности и опасности химических веществ. М., 1978. С. 152—153.

О реальности химической угрозы, существующей в мирное время, свидетельствуют многочисленные аварии и катастрофы, имевшие место в последние годы в различных частях света. Так, только в США в 1971—1983 гг. в 157 792 химических авариях погиб 741 человек, 11 886 — были отравлены и ранены, многие страдают хроническими заболеваниями.

За 18 лет (1971—1989) у нас в стране произошло 150 аварий, связанных с выбросами ТВ, каждая из которых могла перерасти в катастрофу. В конце 80-х годов в различных отраслях промышленности и на транспорте ежегодное число аварий и катастроф достигало 700. Только в 1988 г. на производстве у нас пострадало 668 тыс. человек, а 14 400 погибло.

ВНЕЗАПНЫЕ ВЫБРОСЫ ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ

10 июля 1976 г. в г. Севезо (в 30 км к северу от Милана) из дымовой трубы завода «Икмеза» — одного из предприятий швейцарской многонациональной компании «Хоффман Ла Рош», вырвалось газовое облако, содержавшее диоксин. Оно быстро распространилось над территорией, где проживало около 220 тыс. человек. Среди 2 тыс. пострадавших около 300 нуждались в экстренной специализированной медицинской помощи.

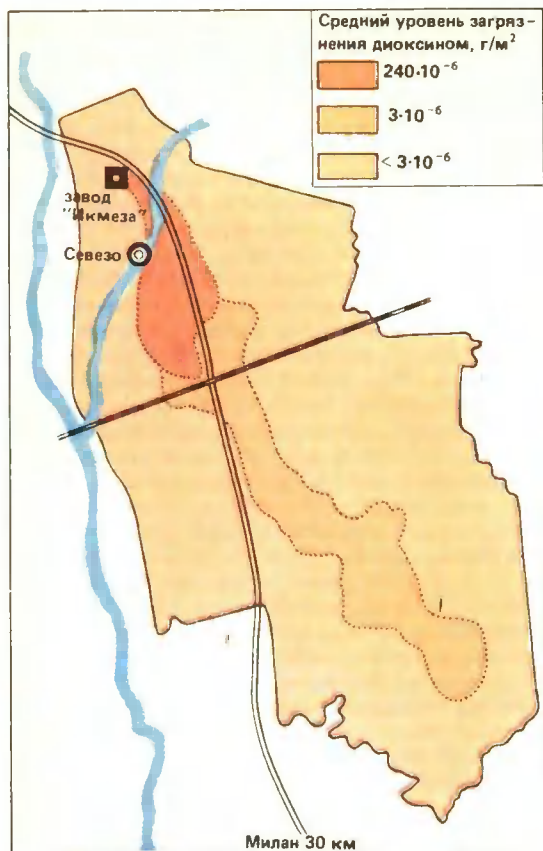
Диоксин (2,3,7,8-тетрахлордibenзопарадион) образуется при производстве трихлорфенола (химической основы для получения дезинфицирующих средств и дефолиантов), когда заданные технологические параметры нарушаются из-за резкого повышения температуры (более 180 °C) и давления в системе органического синтеза.

Это — кристаллическое вещество белого цвета, нерастворимое в воде, химически весьма инертное и потому очень стойкое. Каких-либо специальных средств дегазации нет. Абсолютно смертельная доза диоксина для обезьян — 0,07 мг/кг, а средне-смертельная доза при однократном введении морским свинкам — 0,001 мг/кг, крысам — 0,050 мг/кг, кошкам — 0,115 мг/кг. (Для сравнения: смертельная для человека доза чистого калия выше примерно в 20 раз.)

Способность диоксина активировать окислительные железосодержащие ферменты, в частности цитохром P-448, приводит к нарушению обмена жизненно важных биомолекул и превращению многих синтетических и природных веществ в опасные для организма соединения.

Картина отравления диоксином отличается разнообразием патологических проявлений: сыпь, ожоги, язвы, поражение печени и желудочно-кишечного тракта, кашель, одышка, а также разрушение ногтей, выпадение волос; часто наблюдается депрессия, сонливость. У отравленных диоксином снижается содержание белков в плазме крови и осмотическое давление крови; из-за сердечной недостаточности и повышения проницаемости сосудов появляются отеки, в брюшной и грудной полостях накапливается жидкость. Кроме того, диоксин обладает канцерогенным, тератогенным и мутагенным действием. Так, в середине 70-х годов более 6 % вьетнамских детей рождались с синдромом Дауна, гидроцефалией, аномалиями конечностей, что с достаточным основанием связывают с диоксином, который в качестве составной части хлорированных ароматических гербицидов армия США применяла во Вьетнаме.

Почти за восемь лет до событий в Севезо, в марте 1968 г., на юго-западном побережье Японии произошло массовое пищевое отравление (более 1000 заболевших, 24 умерших), симптомы которого во многом напоминали интоксикацию диоксином. Оказалось, что яд содержался в рисовом масле, куда он попал в процессе производства из полихлордифенила (ПХД), дающего при реакции пиролиза диоксин. ПХД и его аналоги широко используются как связующие и пластифицирующие вещества при производстве масел, красок, лаков, пластмасс, но больше всего в электротехнической промышленности. Еще в 40-х годах благодаря высоким изоляционным свойствам и огнестойкости его стали применять вместо пожароопасных минеральных трансформаторных масел. Во многих странах начали использовать аскарел — сложную смесь различных соединений на основе ПХД. Например, во Франции, где он производится под маркой «пирален», эксплуатируется около 100 тыс. трансформаторов, содержащих ПХД. Ежегодно на разных континентах в ходе ремонта и демонтажа трансформаторов на почву и в водоемы сливаются многие тонны пиралена, и до 5 % его остается в выбрасываемых на свалку трансформаторах. По данным токсикологических исследований, ПХД накапливается в тканях многих обитателей моря и суши и, практически не распадаясь в них, включается в пищевую цепь, попадает в организм человека. Так, в печени средиземноморского тунца обнаружено 8,6 мг/кг ПХД, что свидетельствует об опасном уровне заражения. Найден он и в мясе крупного рогатого скота в ряде европейских стран. Эксперименты



Территория, зараженная диоксином при аварии в г. Севезо 10 июля 1976 г. (по В. Маршаллу).

свидетельствуют, что ПХД вызывает у мышей различные опухоли, у обезьян — гепатит и нарушение воспроизведения потомства. Установлено, что у рабочих, контактирующих с ПХД, резко повышена частота рака кожи и поджелудочной железы.

Наиболее страшная за всю историю по своим последствиям химическая катастрофа произошла в ночь со 2 на 3 декабря 1984 г. в г. Бхопале — столице индийского штата Мадхья-Прадеш. С химического завода дочерней фирмы известной американской корпорации «Юнион карбайд» было выпущено в атмосферу несколько тонн газообразного метилизоцианата (МИЦ).

Это вещество — промежуточный продукт пестицида из группы карбаматов, сильный яд многостороннего действия, в концентрации $\sim 0,1$ мг/л в течение нескольких минут приводит к тяжелому поражению глаз

и органов дыхания. Характерные симптомы: резкий кашель, удушье, рвота и временная слепота. Если концентрация яда возрастает, то гибнут клетки роговой оболочки и полностью утрачивается зрение, развивается острая эмфизема легких, а затем пневмония. Спазм бронхов становится причиной астматических приступов. МИЦ вследствие торможения кислородной функции гемоглобина и тканевого дыхания вызывает гипоксию, что в свою очередь приводит к патологическим сдвигам в работе мозга, сердца, других органов и способствует развитию хронических заболеваний.

Непосредственной причиной аварии стало то, что в емкость с 41 т МИЦ попало до 900 л неочищенной и содержащей хлороформ воды, приведшей к экзотермической реакции с резким повышением давления в системе. Сигнализация не сработала, так как была отключена вместе с системой охлаждения. Начальная температура МИЦ в баке была $15-20^\circ\text{C}$ вместо 0°C , вследствие чего реакция протекала ускоренно. В результате высокого давления открылся предохранительный клапан, в атмосферу выбрасывались пары яда в течение 2 ч при температуре около 200°C и давлении 12,5 атм.

В момент аварии в Бхопале было около 14°C и дул сильный северо-западный ветер, поэтому ядовитый газ быстро распространился на значительную часть густонаселенного города. В первые же минуты погибли сотни спящих людей, в основном дети и старики. Тысячи проснулись и, задышающиеся, ослепленные, безуспешно искали спасения в бегстве. В первый день погибли около 600 чел., 5 декабря их число достигло 1200, 6 декабря — 1600, а в последующие дни превысило 2 тыс. чел. Всего катастрофа в Бхопале унесла не менее 2500 жизней, но эта цифра приблизительна, так как многих погибших кремировали и хоронили неопознанными. Индийские специалисты считают, что в той или иной степени пострадало не менее 25 % 700-тысячного населения города. По самым умеренным подсчетам, ущерб, нанесенный Бхопалу и его населению, составил 3 млрд. долл. Несколько лет индийские власти расходуют крупные средства на помощь пострадавшим, их лечение и трудоустройство. Уже через год после катастрофы было развернуто 7 госпиталей, 26 поликлиник, 14 временных медпунктов. По данным индийских токсикологов, к концу 1985 г. из 1109 людей (60 % из которых находились в 2 км от завода в момент аварии) на фоне общего ухудшения здоровья у 31 % обнаружены хромосомные повреждения, что гово-

рит о неблагоприятных генетических последствиях.

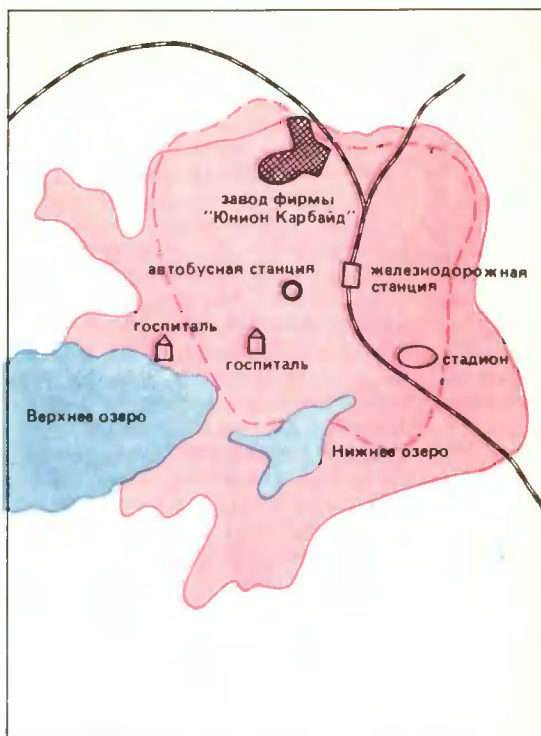
Экспериментально установлено, что МИЦ при нагреве выше 200°C выделяет синильную кислоту — от 3 до 20 % его первоначального объема. Именно при такой температуре из аварийного бака яд вырвался наружу. Это обстоятельство имело решающее значение в первые минуты и часы воздействия ядовитого облака.

Официальное расследование причин трагедии в Бхопале обнаружило крупные просчеты в проекте завода, несовершенство системы предотвращения утечки ядовитых газов, неэффективность средств их дегазации. К тому же, вопреки протестам в прессе и в законодательном собрании штата, завод был сооружен в непосредственной близости от жилых районов и железнодорожного узла, и местные власти не были осведомлены о потенциальной химической опасности для населения технологии производства адоксимиатов.

Лишь в конце февраля 1989 г. после почти четырехлетнего судебного разбирательства «Юнион карбайд» обязалась выплатить индийской стороне компенсацию в размере 470 млн. долл.

Особого рода химические катастрофы возникают в связи с вулканической деятельностью. Одна из самых больших катастроф произошла 21 августа 1986 г. на северо-западе Камеруна. Из глубины оз. Ниос, представляющего собою заполненный водой кратер потухшего вулкана, стремительно вырвалось бесцветное газовое облако высотой около 100 м и со скоростью 50 км/ч двинулось по направлению ветра в густонаселенную долину. Почти все спящие задохнулись, а бодрствовавшие, почувствовав головокружение и нехватку воздуха, выбегали из своих хижин, пытаясь скрыться от несущего смерть облака. По официальным данным, погибли 1746 чел. Но на самом деле их было гораздо больше, поскольку воинские подразделения, опасаясь вспышки эпидемии, спешно без учета хоронили разлагающиеся тела. Всего в результате бедствия пострадали около 20 тыс. чел.

Смертоносное вулканическое облако состояло в основном из углекислого газа с примесью сероводорода и оксида углерода. Высказывается мнение, что скопившиеся под дном озера газы выбросило на поверхность небольшое вулканическое извержение на дне. Не исключено, что углекислый газ просачивался ростепенно на дно озера и затем в толщу воды из дремлющего вулкана. Тяжелый углекислый газ запол-



Территория, зараженная метилизоцианатом при аварии в г. Бхопале 3 декабря 1984 г. (выделена цветом). Площадь, на которой распространилось облако с опасной концентрацией вещества ($0,05 - 0,1 \text{ мг/л}$), составила 25 км^2 (показана штриховкой); наиболее густонаселенная зона ($25 \text{ тыс. чел. на } 1 \text{ км}^2$) показана пунктиром (по В. Маршаллу).

нил долину, поэтому на пути газовой волны люди погибали от острой гипоксии. Известно, что при содержании в воздухе 3 % углекислого газа возникает возбуждение, сердцебиение, сильнейшая одышка и головокружение. Дальнейший рост концентрации приводит к утрате сознания и остановке дыхания. Таким образом, с одной стороны, имело место мощное воздействие углекислоты как токсичного вещества, а с другой — одновременно оказалось почти полное отсутствие кислорода во вдыхаемом воздухе.

Для предотвращения новых катастроф американские специалисты предложили уложить на дно озера трубы большого диаметра, выбрасывающие через сифон «газированную воду» в поверхностный слой (так называемая технология контролируемой дегазации) с последующим постепенным выходом CO_2 из раствора.

ОТРАВЛЕНИЯ ПРИ ПОЖАРАХ И ВЗРЫВАХ

Известно, что при горении многих материалов образуются высокотоксичные вещества, от действия которых подчас гибнет значительно больше людей, чем от огня. Например, в США в 80-х годах из 12 тыс. ежегодно погибавших при пожарах две трети людей были отравлены ядовитыми газами и дымом. Если раньше причиной массовой гибели людей на пожарах был оксид углерода, в основном образующийся при горении деревянных предметов, то в последнее время резко возросло количество смертельных отравлений другими газообразными продуктами горения новых строительных материалов. Такой дым содержит, в частности, очень токсичные газы из группы гидрохлоридов и гидроцианидов. Так, первичная судебно-медицинская экспертиза 12 погибших при пожаре отеля «Хилтон» в Хьюстоне (США) в 1982 г. показала вначале, что смерть наступила вследствие вдыхания с дымом оксида углерода. Однако в ходе тщательного расследования выяснилось, что люди были отравлены парами синильной кислоты и хлорида водорода, выделившимися из горящих материалов. Любопытно, что все погибшие, кроме одного, были обнаружены в не пострадавших от огня номерах, куда отравленный воздух поступал из горевших помещений.

Если учесть, что современное жилище заполнено предметами из полистирола и полиуретана, а обивка мебели изготовлена из винила, ковры — из нейлона, набивка диванов и кресел — из поролона, то потенциальную опасность соседства с этими материалами можно сравнить с хранением горючих жидкостей. При этом выделение в воздушную среду ядовитых веществ зависит от скорости и температуры горения материала. Так, при полном и быстром сгорании полиуретана выделяются углекислота, водяной пар, азот и другие фармакологически инертные вещества, при более низкой температуре продукты его неполного сгорания включают синильную, соляную и муравьиную кислоты, метанол, формальдегид и ряд других высокотоксичных веществ.

И все же оксид углерода остается одним из основных источников отравлений на пожарах. Хорошо известно особое химическое сродство этого яда к гемоглобину, блокирующее его способность присоединять кислород. Кроме того, оксид углерода ингибирует железосодержащие ферменты тканевого дыхания и в закрытых помещениях

приводит к кислородному голоданию жизненно важных центров головного мозга и миокарда.

За последние 20 лет от трети до половины всех аварий на производстве связаны со взрывами технологических систем и оборудования (реакторы, емкости, трубопроводы, смесители и др.). Повышение потенциальной опасности взрывов большой разрушительной силы с выбросом высокотоксичных веществ на несколько километров объясняется прежде всего нарастающей интенсификацией химико-технологических процессов, приближением к критическим значениям таких их параметров, как давление, температура, соотношения химических реагентов. Вот несколько примеров массовых отравлений, вызванных внезапными выбросами ТВ при взрывах.

В феврале 1981 г. в г. Бингемтоне (штат Нью-Йорк, США) в 18-этажном административном здании в результате короткого замыкания и вызванного им пожара был поврежден трансформатор, из которого в подвал вытекло около 800 л аскарела, содержащего диоксин. Продукты пиролиза аскарела через систему вентиляции заполнили здание и вызвали отравление многих людей. Дегазация длилась четыре (1) года; стоимость этих работ (19 млн. долл.) оказалась сопоставимой со стоимостью самого здания.

Другой инцидент произошел 30 июля 1986 г. во французском городе Реймсе, когда в подвале шестиэтажного жилого дома из-за перегрузки взорвался трансформатор, державший 200 л пиралена. Пирален разлился по подвалу, а ядовитый дым через мусоропровод, лестничные клетки, систему вентиляции распространился по всем этажам. В результате сильного отравления диоксином пострадали 343 жителя и 115 пожарных.

20 марта 1989 г. на производственном объединении «Азот» в г. Йонаве (Литва) взорвался резервуар с жидким аммиаком емкостью 7 тыс. т. В результате взрыва, при котором погибли 6 чел., произошел мощный выброс газа в атмосферу. Почти одновременно вспыхнул пожар на складе с 20 тыс. т азотно-фосфорно-калийного удобрения, которое при горении выделяет окислы азота. Это была самая крупная химическая авария в нашей стране. Ядовитое облако распространилось в радиусе более чем 30 км, преимущественно на северо-восток от места аварии. Особенно пострадал г. Йонава и прилегающие населенные пункты, откуда пришлось эвакуировать около 30 тыс. чел. Серьезные отравления получили 53 чел., у некоторых отмечались химические и термические

ожоги и почти у всех — поражения дыхательных путей.

Еще одна катастрофа произошла на железнодорожной станции Шахунья Горьковской обл. 3 июля 1988 г. взорвался вагон с 60 т токсичного гербицида — трихлората натрия. Как оказалось, в пути произошло экзотермическое разложение части гербицида с выделением токсичных газообразных продуктов. Вещества, подобные трихлорацетату натрия, перед транспортировкой должны подвергаться глубокому длительному охлаждению. На это требуется время, но, как показало расследование, злополучный вагон отправляли в конце полугодия и очень спешили отпартовать о выполнении плана. Через выбитый люк вырвался столб бело-сизого дыма высотой в несколько десятков метров, и на город, расположенный в низине, поползло газовое облако. Было принято решение об эвакуации около 20 тыс. чел. К полудню 3 июля, когда воздух очистился от ТВ, жители Шахуни вернулись домой.

Одна из недавних аварий, повлекших многочисленные отравления, произошла на складе сжиженного хлора насосных водозаборных станций в Хабаровске 14 июня 1989 г. В результате разрыва газового контейнера в атмосферу попало 800 кг хлора. В это время вблизи от места взрыва, на берегу Амура, находилось много отдыхающих, в том числе и детей. Пожарники (им помог дождь) сумели через час локализовать химический очаг и одновременно продегазировать территорию. Тем не менее 70 чел. были доставлены в больницу, 8 из них — в реанимационные отделения из-за развившихся симптомов токсического отека легких. Причина аварии — грубое нарушение правил хранения емкостей со сжиженным газом: за пять дней до события прибывшие на склад контейнеры с хлором были оставлены под открытым небом?

Иногда хлор образуется при сильном нагреве относительно неопасных препаратов, особенно если одновременно на них воздействует вода. К примеру, в 1983 г. 4 тыс. жителей г. Ван-Нуйе в Калифорнии были вынуждены покинуть свои дома в результате пожара на складе, где хранился «хлорный концентрат», предназначенный для дезинфекции воды в бассейнах. (Скорее всего это была хлорная известь или гипохлорит кальция). При тушении началось бурное выделение паров хлора, что заставило на время приостановить борьбу с огнем, а 43 чел., в том числе и пожарные, были госпитализированы.

АВАРИИ ПРИ ПЕРЕВОЗКАХ

При транспортировке ТВ нередко накапливаются в больших количествах на железнодорожных узлах, морских и речных пристанях, что таит в себе немало опасностей. В промышленно развитых странах более половины используемых химически вредных веществ перевозится по автодорогам. Так, во Франции 60 % всей используемой в стране серной кислоты перевозит автотранспорт.

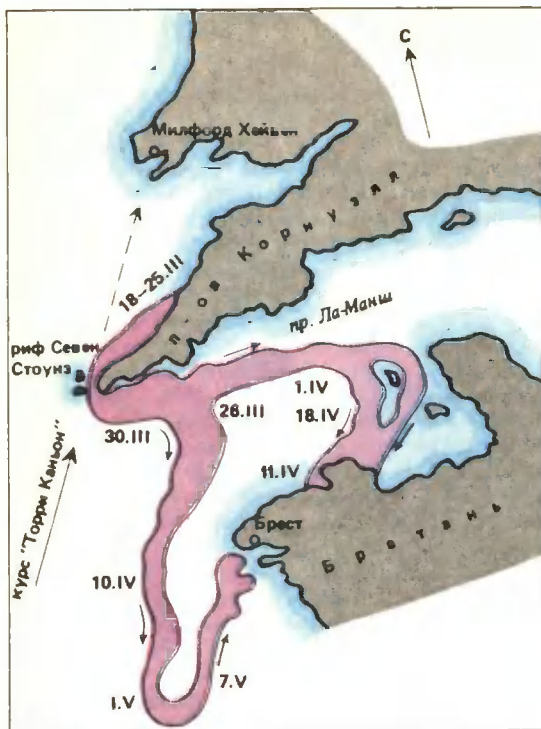
Когда емкость с ТВ становится частью быстро движущегося транспорта, химическая опасность может возникнуть на любом отрезке пути. Поэтому меры предосторожности необходимы на всем пути следования, а маршрут должен выбираться так, чтобы исключить или, по крайней мере, свести к минимуму вероятность воздействия ТВ на людей, что, к сожалению, почти невозможно. Например, в ФРГ при перевозке высокотоксичных материалов ежегодно на уличных магистралях происходит от 1300 до 1750 транспортных аварий подчас с большими жертвами.

По данным министерства транспорта США, в 1983 г. число катастроф при перевозках химических веществ в целом по стране превысило 5700, из них на автомагистралях — 4829. Это побудило американское правительство создать специальную аварийно-спасательную службу, насчитывающую около 190 аварийно-спасательных групп, со своим информационным центром.

За рубежом и в нашей стране время от времени регистрируются случаи повреждения емкостей с ТВ на железной дороге.

В июне 1987 г. на железнодорожную станцию Аннау в 6 км от Ашхабада прибыл грузовой поезд с цистернами, заполненными жидким хлором, а на соседнем пути остановился пассажирский состав Душанба — Ашхабад. Внезапно из одной 60-тонной цистерны вырвалась мощная желто-зеленая газовая струя. Сотни людей метались, не зная, куда скрыться от ядовитого газа, потоки которого продолжали под большим давлением вырываться из цистерны. Расследование показало, что в одну из цистерн на предприятии-поставщике (Павлодарский химический завод) жидкий хлор заливали под самый колпак при низких температурах, без учета возможного увеличения объема при нагреве. В результате грубого нарушения правил заполнения герметичных емкостей пострадало свыше 160 чел., около 20 получили тяжелое отравление.

К разряду химических следует отнести аварии на нефтеналивных судах. Попавшая



Курс танкера «Торрей каньон», потерпевшего авар. 18 марта 1967 г. В результате повреждения 6 из 18 танков в море вылилось первоначально 38 тыс. т нефти. Сильный ветер и шторм окончательно разрушили танкер, и еще 68 тыс. т нефти оказалось в море. Огромное нефтяное загрязнение прибрежной полосы держалось много лет цифрами отмечено распространение нефтяного загрязнения (по А. А. Беккеру и Т. Б. Агаеву).

в море нефть может переноситься течением на сотни километров от мест сброса. Она проникает в толщу воды, накапливается в виде донных отложений, а затем вновь всплывает на поверхность, постепенно превращаясь в еле заметную радужную пленку. При толщине примерно 0,001 мм 1 км² поверхности моря может быть покрыт ею при разливе всего 100 л нефти. Такая пленка в два раза сокращает интенсивность обмена вещества между океаном и воздухом, вызывает гибель микроорганизмов, рыб, морских птиц. Этому способствует также растворение в морской воде определенной части углеводородов нефти и сорбирование ею молекул воды с образованием эмульсионной смеси. Наиболее опасна нефть для морских организмов в их ранних стадиях развития. Личинки многих гидробионтов погибают в морской воде, содержащей всего несколько миллиграммов нефти на литр. При концентрации нефти 0,01 мг/л количество

нежизнеспособных личинок рыб увеличивается в несколько раз.

Теперь около 60 % всей перевозимой в мире нефти приходится на водный транспорт. В настоящее время в мире подсчитывается 700 супертанкеров, полная грузоподъемность каждого из которых с учетом топлива превышает 200 тыс. т, и среди них — четыре «полумиллионника». Естественно, аварии этих судов создают колоссальную опасность для окружающей среды, о чем свидетельствуют события последних десятилетий.

Одна из последних крупных катастроф такого рода произошла у берегов Аляски 24 марта 1989 г., когда американский танкер «Экссон Валдиз» с грузом аляскинской нефти сел на риф примерно в 25 милях от суши и получил большую пробойну. В результате в пролив Принс-Уильям вытекло свыше 45 тыс. т нефти (90 % ее общего количества, находившегося в танкере). Через семь дней после аварии площадь нефтяного пятна достигла 1300 км², оно подошло вплотную к островам в заливе и к берегам Аляски. Общий ущерб, причиненный разливом нефти, составил сотни миллионов долларов. Погибли тысячи птиц, громадное количество рыбы, уничтожен планктон.

На основе анализа 452 случаев аварий нефтеналивных судов, приведших к крупномасштабным разливам нефти, были установлены следующие основные их причины: 123 посадки на мели (риффы), 126 столкновений, 94 из-за несовершенства конструкции судна или навигационного оборудования. Кроме того, 46 танкеров получили повреждения у причалов, у 15 отмечались поломки двигателя, в 17 случаях имели место пожары и в 31 — взрывы. Отметим попутно, что непосредственная химическая угроза Мировому океану исходит также от аварий на нефтедобывающих морских установках, расположенных нередко на небольшом расстоянии от населенных пунктов.

По-видимому, самый крупный из когда-либо зарегистрированных разливов нефти такого рода начался на буровой установке «Иксток-1» в заливе Кампече у юго-восточного побережья Мексики 3 июня 1979 г. Первое время ежедневно выбрасывалось 4 тыс. т нефти. Многократные попытки остановить ее поступление в море позволили лишь уменьшить струю и только почти 9 мес. спустя, 24 марта 1980 г., отверстие скважины наконец сумели закрыть 30-тонной бетонной глыбой. Общая утечка нефти оценивалась в 500 тыс. т. Нетрудно представить размеры экологических последствий выброса такого громадного количества вредоносных ве-

ществ для Мексиканского залива и его берегов.

Война в Персидском заливе (январь — февраль 1991 г.) привела к крупнейшей в истории человечества экологической катастрофе. Ирак сбросил в воды залива 1,7 млн. т нефти, период «жизни» которой составляет около 10 лет. Более 550 нефтяных скважин на территории Кувейта, подожженных иракцами, в течение нескольких месяцев выбрасывали в атмосферу ежедневно 125 тыс. т продуктов горения нефти, включающих особо вредные для здоровья окислы азота, канцерогены и другие вещества, переносимые на тысячи километров. И пожары, и колоссальный разлив нефти (2500 км²) влечет за собой глобальные последствия: интенсивное химическое загрязнение одного из основных в мире мест зимовок птиц, их гибель и заболевания; нарушение экологического равновесия и состояния биологических цепей в крупнейших водоемах, в том числе и на территории нашей страны; резкое сокращение лова рыбы и ухудшение водоснабжения стран Персидского залива; задымление громадных территорий и выпадение токсичных осадков; возможные изменения климата. Все это справедливо оценивается как тяжкое преступление правительства Ирака против природы и человека.

Химическая опасность угрожает морям и рекам также и при перевозках водным транспортом других ТВ — ядохимикатов, сырьевых материалов, высокотоксичных отходов производства. Причем это происходит не только при аварийных или случайных выбросах ТВ. Известно много случаев бесконтрольного сбрасывания в моря и океаны сотен тысяч тонн химических веществ, особо опасных для биологических объектов.

Например, начиная с 1968 г. США ежегодно производили захоронение в различных районах океана до 10 млн. т различных химических отходов, в том числе производства пестицидов — 330 тыс. т, нефтеперерабатывающих заводов — 560 тыс. т, производства кислот — 2,7 млн. т. В последние годы бочки и контейнеры (нередко подверженные коррозии) с цианидами и соединениями мышьяка неоднократно попадали в рыбацкие сети и в открытом море, и в прибрежных водах Дании и Германии. Полагают, что это явилось следствием затопления Великобританией в Северном море в 1963—1969 гг. около 40 тыс. емкостей с этими ядами. Особенно опасными оказались акватории к востоку от о-вов Борнхольм и Готланд, а также у южного побережья Норвегии, где после второй мировой войны было в общей сложности затоплено около 82 тыс. т снарядов и авиационных

бомб, начиненных боевыми отравляющими веществами.

Особая химическая угроза здоровью людей исходит от ТВ, попавших в пресноводные источники и места водозабора. Так, в марте 1990 г. в систему питьевого водоснабжения Уфы попал фенол (и, видимо, еще более токсичные хлорфенолы, поскольку продолжалось хлорирование питьевой воды). Осенью 1989 г. в результате транспортной аварии было просыпано большое количество фенола. Пролежав под снегом всю зиму на территории химического завода, он с весенними водами поступил в воду, а затем в систему городского водопровода.

Таким образом, крупномасштабные выбросы ТВ представляют ныне реальную опасность для водных экосистем. С учетом возрастающей химизации почти всех сфер жизни, роста интенсивности и объемов перевозок высокотоксичных веществ водным транспортом и их сбрасывания (захоронения) в моря, озера и реки можно полагать, что химическая угроза водной среде обитания в обозримом будущем будет увеличиваться.

ПРИЧИНЫ И ИСТОЧНИКИ

При выяснении причин и источников аварий прежде всего оценивают технологическую сущность, количественные и качественные характеристики поврежденных мощностей или транспортных средств. Одновременно стремятся определить конструктивные и эргономические дефекты, послужившие причиной аварий из-за несоответствия конструкций и компоновки промышленных (транспортных) систем управления анатомическим и физиологическим возможностям человека. Следовательно, люди, непосредственно управляющие техническими средствами, вместе с другими участниками производства могут стать жертвами заранее спланированных обстоятельств.

Как отмечают специалисты, в нашей стране ликвидация аварий на промышленных, в том числе химических опасных, объектах зачастую носит формальный характер. Естественно, что чем выше сложность прогнозируемой аварийной ситуации, тем важнее быстрая ответная реакция, выработка нестандартных экстренных решений. Однако задача описания и анализа возможных вариантов чрезвычайной обстановки перед наукой пока еще только ставится. В частности, в ряде последних работ подчеркивается, что нулевая вероятность аварийных ситуаций возможна лишь в технологических системах, лишенных запасенной энергии, химически и биологически активных компонентов. Следо-

вательно, поскольку практически нельзя обеспечить «абсолютную» безопасность, надо, очевидно, стремиться к минимальному (приемлемому) уровню риска на химически опасных предприятиях, например, разработать и научно обосновать сертификационную документацию, методы определения риска и расчета ущерба, исследовать опасности основных химических технологий, разработать эффективные технические системы и средства управления риском. Словом, переход в научных исследованиях от концепции «абсолютной» безопасности или «нулевого» риска к концепции «приемлемого» риска — это качественно новый шаг в деле повышения промышленной безопасности.

Состояние и рабочая эффективность технических средств (систем предупреждения аварийных ситуаций, структурные недостатки материалов и степень их соответствия предназначению, уровень износа, коррозии, старения конструкций — все это составляет предмет исследования при выяснении возможных причин аварий и катастроф. Однако не меньшее значение имеет в этом плане человеческий, точнее, личностный фактор. Действительно, в настоящее время в мире заметно возрос удельный вес аварий, происходящих из-за неправильных действий обслуживающего технического

персонала. Чаще всего это связано с недостаточностью профессионализма, а также умения принять оптимальное решение в сложной критической обстановке в условиях дефицита времени. При таких психологических перегрузках отдельные специалисты допускают неправильные действия, приводящие подчас к непоправимым последствиям.

Вместе с тем не будет ошибкой признать, что аварии и катастрофы нередко становятся следствием ведомственно-технократической стратегии, приводящей, в частности, к сооружению объектов с заведомо отсталой технологией и экономии средств на обеспечение необходимой безопасности. Довольно часто такая стратегия предопределяет строительство предприятий в местах, уязвимых в социально-экономическом отношении (близость населенных пунктов, особая хрупкость экосистем и т. д.).

Многолетний мировой опыт показывает, что для предупреждения аварийных ситуаций необходимо обеспечить надежность эксплуатации всех видов производств и запас прочности важнейших структурных элементов производственных линий и транспортных средств, а также создание страховых систем.

Из хроники экологических бедствий в 1991 г.*

8 января на очистные сооружения фабрики «Комавангард» (г. Собинки Владимирской обл.) поступило около 8 т нефтепродуктов. В результате аварии вышли из строя очистные сооружения. Сточные воды практически без очистки попали в р. Клязьма. Причина аварии — слив в канализацию города смеси воды с печным топливом.

11 января на Воркутинской ТЭЦ-1 произошел аварийный сброс 10^3 м³ золы в р. Воркуту.

16 января комбинатом «Североникель» концерна «Норильскникель» допущен сброс

сточных вод с содержанием меди 10,2 мг/л (что соответствует 1020 ПДК) в устье р. Нюдауй, впадающей в оз. Нюд — рыбохозяйственный водоем высшей категории.

23 января в результате повреждения железнодорожной цистерны произошел разлив 60 т бензина на станции Архангельск.

24 января в пос. Амдерма Архангельской обл. в результате разрыва нефтепровода нефтепродукты попали в оз. Тоин-то.

29 января из котельной № 14 ПО «Сочикоммунэнерго» несколько сот килограммов мазута вылилось в р. Сочи и Черное море.

3 февраля в Абинском р-не Краснодарского края про-

изошел разрыв нефтепровода «Приазовнефть». Около 3 т сырой нефти попало в расположенную в 15 м р. Ахтырь.

6 февраля дальнейшие работы по погрузке серы в Дундинском порту запрещены в связи с ежегодными нарушениями технологии. Загрязнения водного, воздушного бассейнов и почв в районе погрузки составляют 470—740 ПДК. Имеется угроза здоровью людей.

7 февраля аварийно остановлена одна из канализационно-насосных станций (КНС) «Уфаводоканала». Стоки по аварийному выпуску поступают в р. Сутолока, впадающую в р. Уфа.

8 февраля в Красноармейском р-не Самарской обл. на территории совхоза им. Чапаева

*Из сообщений местных органов охраны природы, переданных в бывшее Министерство природопользования и охраны окружающей среды СССР.

из нефтепровода диаметром 800 мм, принадлежавшего Управлению приволжскими магистральными нефтепроводами Миннефтепрома СССР, вылилось около 3 тыс. т нефти.

13 февраля из-за трещины в цистерне № 50152-719 произошла утечка 120 т аммиака. В пункте Татьяна-Южная г. Волгограда ПДК превышены в 150 раз; зарегистрировано отравление четырех человек.

14 февраля в устье р. Мышега содержание нитритов составило 8 мг/л (400 ПДК для рыбохозяйственных водоемов).

14 февраля в р. Сутолока (г. Уфа) обнаружены загрязнения по меди 242 мкг/л (242 ПДК), по хрому — 83 мкг/л (83 ПДК), по азоту нитритному — 0,24 мг/л (12 ПДК).

25 марта в связи с аварией на КНС в Ульяновской обл. хозяйственно-фекальные стоки (80 тыс. м³/сут.) сбрасываются в р. Свиягу.

27, 28 и 29 марта по вине Соколовогорского нефтепромысла ПО «Саратовнефтегаз» произошел залповый сброс около 5 т сырой нефти в Волгоградское водохранилище. Ориентировочная площадь загрязнения 100 тыс. м².

3 апреля из магистрального нефтепровода Куйбышев — Лисичанск в Пугачевском районе Саратовской обл. вытекло около 2,5 тыс. т нефти, попавшей в р. Малый Ириц (приток Волги).

3 апреля в Нижневартовском р-не Тюменской обл. в управлении «Самотлорнефть» объединения «Нижневартовскнефтегаз» на внутрипромысловом нефтепроводе диаметром 500 мм в результате аварии вылилось около 300 т нефти, которая впоследствии загорелась. Пожар длился 11 час.

4 апреля у с. Тростянка Красноярского р-на Самарской

обл. прорвало магистральный нефтепровод Альметьевск — Куйбышев диаметром 800 мм.

14 апреля на станции Коноково Успенского р-на Краснодарского края в результате столкновения двух грузовых поездов вылилось 100 т нефти. Поврежден подрост леса на площади 600 м².

17 апреля из-за прорыва нефтепровода в р. Туапсе (Краснодарский край) сброшено около 30 т дизельного топлива. Пленкой покрыта часть реки от нефтезавода до устья на протяжении 1,5 км. Для предотвращения загрязнения моря установлены боновые заграждения.

16 мая в районе г. Сызрани Самарской обл. нефтеналивное судно Башкирского управления пароходства «Волготанкер» столкнулось с устоем моста через р. Волга. В Саратовское водохранилище попало 3 т нефтепродуктов.

22 мая в результате аварии на КНС г. Орла сброшено в р. Оку 20 тыс. м³ неочищенных производственно-хозяйственных стоков.

22 мая на станции Бухара-1 в товарном поезде произошла утечка хлора. 33 человека госпитализированы, в том числе четверо с отравлением средней тяжести. Пострадала также окружающая растительность.

27 мая из трубопровода для подачи хозяйственно-бытовых стоков в р. Оку сброшено 12 тыс. м³ неочищенных вод.

23 июня произошла авария и пожар на скважине № 231 Карачаганарского месторождения, расположенной в 23 км от райцентра Илек Оренбургской обл. В 10 населенных пунктах концентрация сероводорода в атмосфере достигла 8 ПДК. В сутки сгорает до 1 млн. м³ природного газа.

29 июня на Воронежском

заводе синтетического каучука в результате утечки аммиака из аммиакопровода получили отравление трое работников.

С 20 по 25 июня в г. Александров Владимирской обл. в р. Серую ежедневно сбрасывалось до 7 тыс. м³ неочищенных хозяйственно-фекальных стоков.

С 28 июня по 1 июля при транспортировке по маршруту Тольятти — Уфа — Юрюзань — Магнитогорск — Челябинск — Свердловск — Первоуральск предприятием СМУ-5 треста «Уралспецстройтрансгаз» утечка у-источник мощностью дозы 5 рентген в час на расстоянии 1 м.

29 июня на Астраханском гидролизном дрожжевом заводе произошел разлив 200 т концентрированной серной кислоты.

4 июля на Бийском химкомбинате в Алтайском крае в результате взрыва здания № 358 погибло три человека.

10 июля на станции Дербент Дагестанской АССР в одной из 59 цистерн железнодорожного состава, следовавшего из Сумганта, обнаружена утечка сжиженного изобутилена.

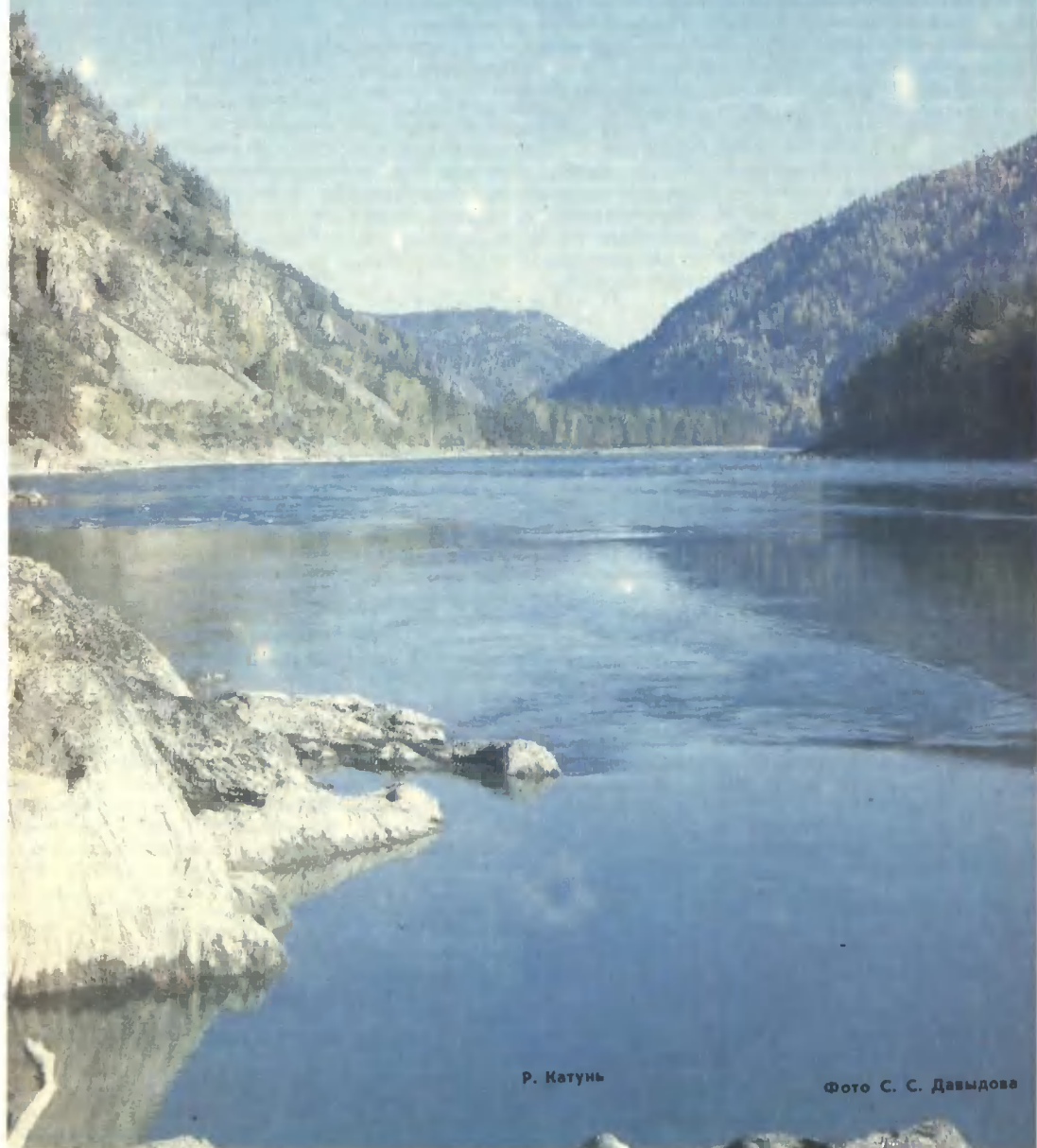
26 июля на КНС № 3 Рязанского производственного управления «Водоканал» затоплено отделение станции, в результате 100 тыс. м³ неочищенных сточных вод попало в р. Трубезь и далее в р. Оку.

31 июля на Хабаровском нефтеперерабатывающем заводе тайфун стал причиной аварийного сброса нефтесодержащих сточных вод в р. Амур — содержание нефтепродуктов в реке — 600 ПДК.

11 октября в р. Уй, притоке р. Тобола в районе с. Усть-Уйского Челябинской обл. содержание меди составило 210 ПДК для рыбохозяйств.

Незаконченная история проектирования Катунской ГЭС (Записки эксперта-эколога)

К. Н. Дьяконов



Р. Катунь

Фото С. С. Давыдова



Кирилл Николаевич Дьяконов, доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой физической географии и ландшафтоведения географического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Занимается теоретическими проблемами ландшафтоведения, влиянием гидротехнических систем на ландшафты.

Место проектирования створа Катунской ГЭС.

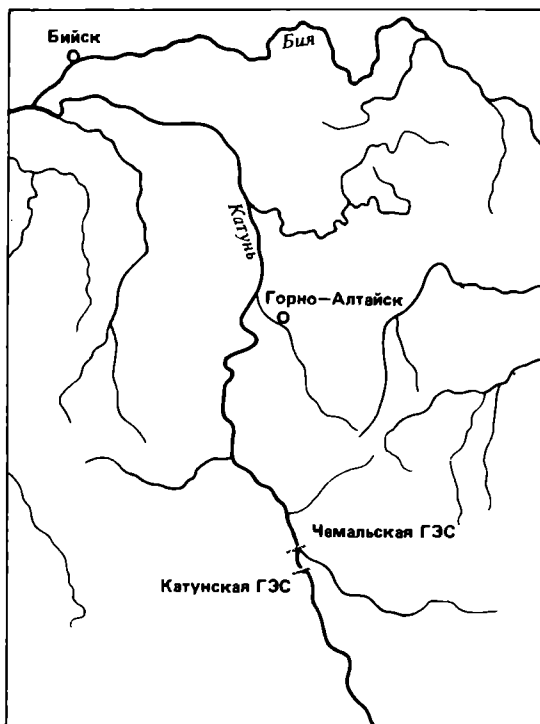
Здесь и далее цветные фото Г. Н. Огуревой

СТОИТ ли сегодня вспоминать пятилетнюю историю «противостояния на Катуні» — противостояния сторонников и противников строительства крупной ГЭС на одной из красивейших рек Сибири? Она многократно обсуждалась в печати и на телевидении, «на круглых» и «угловатых» столах в научных и общественных кругах. Казалось бы, технократам нанесено поражение, проект отвергнут. Но, скорее всего, он снова будет обсуждаться, теперь уже правительством России, представленный теперь уже правительством новой Горно-Алтайской республики. К тому же есть еще причина обратиться к этой теме: творцы гигантских гидротехнических проектов, похоже, добровольно не собираются уступать завоеванных ранее позиций.

«ГИДРОТЕХНИЧЕСКАЯ МЕДАЛЬ»

Статус гидроэнергетического строительства в СССР вплоть до середины 80-х годов был необычайно высок. В 50—60-е годы многие крупные реки нашей страны полностью или частично были превращены в цепочку водохранилищ — Волга, Кама, Днепр, Ангара, Енисей, Иртыш и др. Быть может, потому что на знамени гидротехников было начертано «Коммунизм — это Советская власть плюс электрификация всей страны», а может быть, и по другим причи-





Местоположение проектируемых Катунской и Чемальской ГЭС.

нам, но каждая крупная ГЭС была на виду народа, объявлялась ударной комсомольской стройкой. После ее завершения строителей находили правительственные награды — ордена, медали, почетные грамоты, государственные премии. Не обижали при этом и проектировщиков, и ученых-энергетиков.

Газеты с упоением писали, что уже в первые годы, а иногда даже до завершения строительства (как это было, к примеру, с Братской ГЭС) многомиллионные затраты полностью окупались. Не менее важно, что в 50—60-е годы Минэнерго сумело сформировать благоприятную для себя организационно-научную, административную и производственную инфраструктуру. В унисон работали ответственные за энергетику отделы Госплана СССР и союзных республик, Государственный комитет СССР по науке и технике, Государственная экспертная комиссия, Совет Министров СССР в лице Бюро по топливно-энергетическому комплексу. Уровни обороны, а точнее, бастионы, гидротехников выглядели неприступными.

Однако огромная, тщательно изготов-

ленная государством «гидротехническая медаль» имеет и обратную сторону. Далеко не только комсомольцы-добровольцы создавали новые водохранилища и каналы. Всемирно известный 227-километровый Беломорско-Балтийский канал им. И. В. Сталина строили в основном опекаемые всесильным уже в 30-е годы Гидропроектом политические заключенные, спустя десятилетия реабилитированные. Короткие сроки окупаемости были созданы искусственно. За счет завышенных тарифов, кстати, не дифференцированных по времени суток, на электроэнергию. Но в еще большей степени за счет недооценки экологических последствий от затопления и подтопления территории: ущерб рыбному, лесному, сельскому хозяйству полностью не учитывался, а, скажем, охотничье-промысловому или рекреации вплоть до 80-х годов просто игнорировался. Чего, например, стоили два основополагающих принципа оценки подтопления и компенсации затопленных и подтопленных земель! Длительное время работала «концепция одного метра», т. е. к подтапливаемым землям вне зависимости от геологического строения прибрежной зоны и ее рельефа относили территорию, лежащую не выше 1 м над нормальным подпорным горизонтом (уровнем). Второй принцип также абсурден: компенсация «га за га», т. е. затопленные пойменные земли по плодородию приравняли к водораздельным, нередко заболоченным, кислым подзолистым почвам, потенциальная урожайность которых гораздо ниже.

Нельзя, конечно, сказать, что небо над гидротехниками-проектировщиками всегда было безоблачным. Впервые над Минэнерго сгустились тучи при обсуждении проекта гигантской Нижнеобской ГЭС (с площадью водохранилища — в зависимости от варианта — от 30 до 50 тыс. км²). После многолетних баталий в середине 60-х годов проект не получил поддержки. Но его отклонение не было успехом экологов и географов, хотя в движении общественности против создания исполина на Оби активно выступали многие ученые. Решающим фактором оказалась нефть. К тому времени на севере Западной Сибири обнаружили огромные запасы углеводородного топлива, а осваивать месторождения со дна рукотворного моря было бы слишком дорого и неудобно.

В эти же годы был отвергнут еще один абсурдный гидротехнический проект — комплекс водораздельных водохранилищ на Печоре, Вычегде и Каме, необходимых, по мнению Гидропроекта, чтобы перебросить часть стока вод Печоры и Вычегды в бассейн Волги через Каму для стабилиза-

ции мелевшего в то время Каспия. Гидротехниками выдвигались еще и другие аргументы в пользу своего проекта, но его отвергли по причине колоссального ущерба природе и экономике Севера. Иногда отвергались или корректировались и другие проекты (Усть-Ижемской ГЭС на Печоре, Чебоксарской на Волге), но в целом Гидропроект и его филиалы, а также строительные организации Минэнерго почти всегда имели «зеленый свет», когда речь шла о строительстве крупных ГЭС.

В 70-е годы фронт крупного гидроэнергетического строительства переместился в Сибирь. Строительство стало дороже. За последние 20 лет мощность электростанций Объединенной энергосистемы Сибири увеличилась втрое. Удельный вес ГЭС в суммарной мощности электростанций Сибири к 1985 г. возрос до 57 % против 35 % в 1965 г. Половина мощности ГЭС (почти 12 млн. кВт), предназначенная для покрытия пиков нагрузки энергосистем, никогда не использовалась.

Чрезвычайно высокий удельный вес ГЭС привел к большой зависимости электроснабжения промышленных и гражданских объектов Сибири от водности рек, т. е. от атмосферных осадков, которыми человек еще не управляет. Характерным в этом отношении был 1982 год. Из-за маловодья выработка энергии на ГЭС упала до 37,5 % от возможной. И как следствие, тепловые электростанции трудились с предельным напряжением. А в многоводном 1985 г. электроэнергия вырабатывали в полтора с лишним раза больше нормы и 14 млрд. кВт·ч было выброшено вхолостую. Явный крен в сторону гидроэнергетики в Сибири вызывает здесь избыток пиковых мощностей и периодическую нехватку базовой энергии тепловых станций.

Но Минэнерго в лице всесильного Гидропроекта продолжает проектировать и строить в Сибири все новые и новые станции. Вот лишь несколько гидростанций, для которых ведется технико-экономическое обоснование создания или проектирование: Туруханская на Нижней Тунгуске (7 млн. кВт), Богучанская на Ангаре (7 млн. кВт), Осиновская на Енисее (6 млн. кВт), Бодайбинская на Витиме (2,5 млн. кВт). В этом перечне и Катунская ГЭС.

ИСТОРИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Первые предложения о строительстве высокой плотины на Катуні, у с. Еланда, были высказаны Ленинградским отделением института (в то время Гидроэлектропроекта)

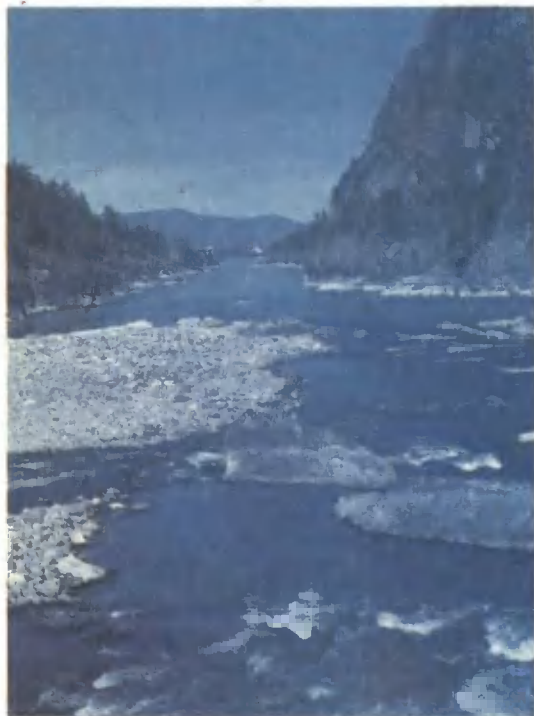


Пятнистые олени в долине притока Катуні р. Черги
Фото С. С. Давыдова

еще в 1932—1934 гг. Основные параметры Катунской ГЭС были установлены в Схеме использования р. Катуні, разработанной Гидропроектom в 1963 г. и утвержденной Государственным производственным комитетом по энергетике и электрификации СССР, а к 1980 г. Гидропроектom была завершена разработка технико-экономического обоснования (ТЭО) Катунской ГЭС. Ее основные характеристики: установленная мощность — 1,9 млн. кВт, высота плотины — 180 м, сметная стоимость в масштабе цен конца 80-х годов — 1,3 млрд. руб. ТЭО Катунской ГЭС с несколько меньшей мощностью (1,3 млн. кВт) с регулирующей ее режим малой Чемальской ГЭС были утверждены приказами Минэнерго СССР в 1980 и 1985 гг. Но еще до утверждения проекта, в 1983 г., по согласованию с Госпланом СССР начались подготовительные работы. По существу, был дан старт стройке. Следует добавить, что в «Основные направления экономического и социального развития СССР на



Обо — священное место на горном перевале.



Катунь в районе впадения в нее р. Чемал.

1986—1990 гг. и на период до 2000 г.» включен пункт о строительстве Катунской ГЭС.

Итак, подготовительные работы по созданию ГЭС были начаты в 1983 г. Это — вырубка лесов для трасс будущих ЛЭП, создание автомобильных дорог, временных и постоянных поселков строителей. На подготовительные работы можно смотреть с двух позиций: в целом это полезное дело для развития социально-экономической инфраструктуры региона (например, новые дороги в России всегда нужны); с другой стороны, подготовительные работы — пустая трата средств, если проект не будет согласован и утвержден правительством. Именно проект, а не ТЭО. Есть и третья точка зрения, проектировщиков. Подготовительные работы тем «полезнее», чем больше денежных средств на них затрачивается. Скажем, вложено 20 млн. руб. Это уже веский «аргумент» в пользу строительства станции. Деньги затрачены, и немалые. Если ГЭС не строится, то затраты не окупятся, а это не «по-государственному»; а если плотина будет, затраты окупятся с лихвой. В таком случае подготовительные работы — благо, так как они позволили сэкономить время. Одним словом, типично ведомственная философия,



Долина Катунь

которую поддержал Совмин страны при своем шефе Н. А. Тихонове, приятеле Л. И. Брежнева. Для многих новых строек это стало нормой. Отсюда — корни «долгостроя» и распыление средств на многочисленные объекты.

Вероятно, строительство Катунской ГЭС сейчас подходило бы к своему завершению, стройка уже окупала бы себя, были бы уже новые герои, но... Изменения в социально-политической обстановке в СССР с началом перестройки позволили наконец ученым, писателям и просто советским гражданам сказать свое слово по поводу и проектов поворота рек, и водных мелиораций, и массового создания водохранилищ. В 1987 г. Верховным Советом СССР был принят Закон «О всенародном обсуждении важных вопросов государственной жизни», что дало юридическую основу для широкого обсуждения крупных проектов, в том числе Катунской ГЭС.

«ДЕШЕВЫЕ» КИЛОВАТТЫ И ИХ ПРОТИВНИКИ

Первое серьезное рассмотрение проекта Катунской ГЭС состоялось в октябре

1986 г. на конференции «Географические проблемы бассейна Катунь в связи с энергетическим освоением». Она была созвана Алтайским филиалом Географического общества СССР и Алтайской лабораторией экологии и рационального природопользования Института географии Сибирского отделения Академии наук СССР. Энергетики полностью игнорировали эту конференцию. Когда такое было, чтобы провинциальная конференция, проведенная в основном сравнительно малочисленной общественной организацией, могла диктовать условия Гидропроекту? Ее результаты подытожила статья «О «дешевых» киловаттах реки Катунь», опубликованная 1 декабря 1986 г. в «Природе». Благодаря этой публикации общественность узнала о планируемом гигантском строительстве в одном из красивейших регионов страны.

О научных итогах регионального форума ученых сообщалось в газете «Наука Сибири» за 8 января 1987 г. Заведующий Алтайской лабораторией экологии и рационального природопользования Ю. И. Винокуров и научный сотрудник этой лаборатории В. Н. Булатов, отмечая удручающее состояние с энергоснабжением Горного Алтая, обращали внимание на крайнюю схематичность разработки эколого-географических вопросов в проекте ГЭС, отсутствие прогноза изменения природных условий в

верхнем и нижнем бьефах водохранилища и затопления плодородных пойменных земель Верхней Оби, охлаждающего климатического эффекта водохранилища, учета потерь от затопления сельскохозяйственных земель (5250 га).

Конференция пришла к выводу о необходимости целостной экологически обоснованной концепции развития гидроэнергетики в бассейне Катунь с учетом уникальности территории для сведения экологических потерь к минимуму, поиска альтернативных вариантов обеспечения Горного Алтая энергией. После упомянутых публикаций поднялась волна протеста против строительства Катунской ГЭС: в правительственные органы и средства массовой информации хлынул поток писем, телеграмм, звонков; был проведен сбор подписей, прошли митинги, собрания, тематические вечера, научные семинары с требованием проведения серьезнейшей экологической экспертизы, как государственной, так и общественной. Стало ясно, что Катунский проект сфокусировал в себе все прежние просчеты гидротехников и обсуждение ситуации на Катунь предоставило благоприятную возможность выплеснуть благородный гнев за прошлое.

Пока проходили научно-общественные мероприятия в защиту Катунь, Минэнерго СССР представило в Совет Министров РСФСР проект строительства Катунской ГЭС с регулирующей ее Чемальской ГЭС на согласование. Совмин РСФСР передал проект на экспертизу в Госстрой РСФСР, который, базируясь на заключениях Минздрава РСФСР, СО АН СССР, СОПСа при Госплане СССР, Центрального совета Всероссийского общества охраны природы, Российского совета по туризму и экскурсиям, Института археологии АН СССР и ряда других организаций, пришел к следующему выводу: «В результате рассмотрения установлено, что строительство указанных гидроэлектростанций приведет к значительным нарушениям природного комплекса долины р. Катунь, представляющей уникальную ценность в природном, историко-археологическом и рекреационном отношении».

Госстрой РСФСР счел недопустимым реализацию Схемы использования гидроэнергетических ресурсов этой реки, разработанной Гидропроектом. Вопрос о необходимости указанного строительства должен быть рассмотрен Государственной экспертной комиссией Госплана РСФСР после завершения всех научно-исследовательских работ, предусмотренных постановлением Президиума СО АН СССР от 3.07.87 г., — говорится в заключении Госстроя РСФСР.

В сентябре 1987 г. итоги экспертиз и совещаний были рассмотрены руководством Госплана СССР и Госплана РСФСР. Не знаю, какие очки были на глазах должностных лиц Госпланов, в частности у тогдашних заместителя председателя союзного Госплана А. М. Лалаянца и первого заместителя республиканского Госплана Н. П. Мяшьянова, но они заключили, что принципиальных возражений против строительства Катунской и Чемальской ГЭС нет. Были сформулированы дополнения к проекту. Дополненный проект в декабре 1987 г. Минэнерго направил на согласование в Совмин РСФСР, который поручил Госплану РСФСР и Госстрою РСФСР провести новую экспертизу проекта.

НОВАЯ ЭКСПЕРТИЗА

О составе экспертной подкомиссии по рассмотрению проекта Катунской ГЭС, о ее работе и результатах следует сказать подробнее. Прежде всего, о председателе экспертной подкомиссии. Им был назначен «не проигрывающий сражения генерал», а точнее, даже «маршал» энергетики Д. Г. Жимерин: нарком Министерства электростанций СССР в 1946—1953 гг.; депутат Верховного Совета СССР в 1946—1950 и 1954—1958 гг.; делегат нескольких съездов партий и кандидат в члены ЦК КПСС, прошедший жесткую школу административно-командной системы при Сталине. Он к тому же успел стать членом-корреспондентом АН СССР, занимал высокий пост в Государственном комитете СССР по науке и технике. Несмотря на свой почтенный возраст, Дмитрий Георгиевич сохранил твердость характера и голоса, но, как показали многочисленные заседания экспертизы, не приобрел умения выслушивать экологов.

Правда, среди четырех заместителей председателя (сам по себе случай редкий для подобных экспертиз) было два географ-эколога — Н. Ф. Глазовский и Б. Б. Прохоров. Первый возглавил группу оценки природных условий и физико-географического прогноза; второй — группу экологии, археологии, охраны памятников истории, заповедников. Два других заместителя отстаивали интересы энергетиков. Проектную организацию представляла большая команда, до 30 человек, во главе с главным инженером проекта А. С. Пигалевым.

Острая дискуссия возникла не только по экологическим вопросам. Так, группа занимавшаяся обоснованием параметров и экономической эффективности, засвидетельствовала:

по условиям баланса мощностей объединенной энергосистемы Сибири в период до 2005 г. не возникает необходимости ввода Катунской ГЭС;

рекомендацию об использовании мощности Катунской ГЭС для покрытия пиковых нагрузок за пределами 2005—2010 гг. нельзя считать доказанной из-за дискуссионности предложения о размещении пиковой мощности на расстоянии 3,5 тыс. км (I) от центра нагрузки;

значение Катунской ГЭС в электроснабжении Алтайского края и Горно-Алтайской области в проекте преувеличено.

Прокомментируем заключение. Споры нет, электроэнергия жителям нужна. Нужна в небольших населенных пунктах, на животноводческих стоянках. Но... нигде в проекте нет конкретной схемы ее распределения в пределах Горно-Алтайской области. Гидропроект планировал энергию Катунской ГЭС передать в объединенную энергосистему Сибири. Подача же энергии в отдельные населенные пункты и на пастбища снизит рентабельность строительства настолько, что все нормативы окажутся нарушенными. Ясно, что для небольших и разбросанных населенных пунктов следует прорабатывать альтернативные варианты, связанные с «малой» энергетикой, в частности, для Горного Алтая перспективны ветровые энергетические установки. Но этот вид получения электроэнергии Гидропроект априори считает неэкологичным. А ведь энергоснабжение местного населения — один из основных аргументов гидротехников в пользу строительства плотины на Катуне.

Замечу, что на меня, географа-эколога, принимавшего участие в экспертизе, вывод группы экономической эффективности произвел сильное впечатление. Считаю, что экологи в отдельных случаях могут пойти на компромисс, смириться с частичной потерей лугов и лесов, сокращением рыбного стада и т. д., но лишь при условии, если гидростанция экономически целесообразна и необходима для решения социальных вопросов региона.

Кроме того, в проекте отсутствовал прогноз развития производительных сил Горно-Алтайской области. На это обратили внимание эксперты группы «Развитие и размещение производительных сил региона».

Кстати, о позиции местного населения. Социально-бытовые условия в области, где проживают 180 тыс. чел., из которых 62 тыс. чел. составляют коренное население (алтайцы), неудовлетворительные. Поэтому часть населения поддерживала строительство ГЭС. В основе поддержки опять-таки

в целом ложные посылки. Долгие годы в нашей стране господствовала практика, когда социально-экономическая инфраструктура развивалась только в случае крупного строительства в регионе: проведения широкомасштабных водных мелиораций, строительства ГЭС, большого завода. Тогда появлялись и детские сады, школы, клубы, дороги. Средства на это имели министерства, в частности Минводхоз, Минэнерго и т. д. Бюджеты местных Советов были настолько скудны, что не могло идти речи о таком строительстве. Так и в Катунском проекте. Примерно четверть всех средств планировалась на развитие социально-бытовых условий, но при обязательном условии сооружения ГЭС. Аналогичное положение в 70—80-х годах сложилось в Российском Нечерноземье. Строили детские сады, школы, поселки, прокладывали шоссе, дороги, но при условии проведения дренажа — осушительной мелиорации, даже там, где она окупалась за 25—35 лет при нормативе 8—10 лет. Нетрудно поэтому понять часть местного населения, которое смотрело на будущую плотину ГЭС как на благо.

Эксперты группы «Оценка природных условий» отметили отсутствие прогноза изменения ландшафтов в случае реализации проекта, крупные методические просчеты в прогнозировании изменений в местном климате, недоучет последствий в нижнем бьефе, вплоть до зоны влияния Новосибирского водохранилища. Пойменный режим будет существенно изменен, исчезнет летний паводок, что приведет к иссушению поймы, снижению ее биологической продуктивности. Снижение биологической и сельскохозяйственной продуктивности пойм в нижнем бьефе всех водохранилищ связано еще и с тем, что в водохранилище осаждаются около 95 % взвешенных в воде частиц, в том числе плодородного ила, который уже не поступает в нижний бьеф. Эта проблема вообще не нашла своего отражения в проекте Катунской ГЭС.

Острую дискуссию вызвал вопрос о качестве воды. Бассейн Катунь — крупный природный геохимический очаг со сложным спектром токсичных микроэлементов и тяжелых металлов, особенно ртути. В экспертном заключении геохимики указывали, что на основании прогноза возможной гидрохимической обстановки в Катунском водохранилище, анализа аналогичных ситуаций на водохранилищах США, Канады и Финляндии, а также уже имеющихся материалов по геологии региона можно считать, что отравление органическими соединениями тяжелых металлов (в первую очередь метилртутью)



Пионы и жарки в бассейне Катунки.



Высокогорная горечавка.

воды водохранилища и гидробионтов произойдет с большой вероятностью, скорее всего, этот процесс неизбежен. Дополнительные исследования необходимы только для установления более точного срока, когда содержание метилртути достигнет уровня, угрожающего здоровью и жизни людей, и начнет оказывать генотоксический эффект.

Нет возможности и, пожалуй, необходимости приводить фрагменты заключений всех комиссий, но хотелось бы упомянуть еще о мнении экспертов из группы «Экология, археология, охрана памятников истории, заповедники, заказники». В зоне водохранилища и строительства будет уничтожено только из числа известных на 1988 г. более 2100 курганов, 13 поселений и стоянок, 13 пунктов с древними наскальными рисунками. Многие места в зоне затопления связаны с алтайским героическим эпосом. Это священные, издревле почитаемые места. Их уничтожение обеднит не только национальную культуру алтайцев, но и общечеловеческую культуру.

Духовная культура не может быть оценена в рублях! Поэтому можно понять, но не оправдать позицию Гидропроекта, который неожиданно выделил 17 млн. руб. археологам на их работы. И уж никак нельзя оправдать позицию тех ученых (к сожалению, среди них был и известный академик), которые считали, что 17 млн. руб. на археологические изыскания — достаточная плата и компенсация за то, что потомки никогда не

смогли бы исследовать землю, которая хранит память о неолите, эпохе бронзы, средневековье, монгольском и послемонгольском времени. Как тут не вспомнить крупных академиков, которые, не задумываясь над уникальностью Байкала, подписывали документы о возможности строительства на его берегах целлюлозных комбинатов! Поэтому проблема гидротехнического строительства имеет и нравственный аспект. Всегда кому-то выгодно получить дополнительные ассигнования именно в данный момент.

Казалось бы, мнения большинства экспертных групп едины: дальнейшее проектирование и тем более строительство Катунской ГЭС бессмысленно. Экологически и экономически оно недопустимо. Однако ГЭК Госплана РСФСР вопреки экспертному заключению по Катунской ГЭС принял решение о доработке проекта. Таким образом, Гидропроекту была дана возможность продолжать тратить народные деньги на доказательство полезности и необходимости строительства ГЭС.

НОВАЯ КАМПАНИЯ ПРОТИВ СТРОИТЕЛЬСТВА

В процессе проведения Госпланом РСФСР экспертизы проекта и в особенности после нее в стране не утихла широкая кампания против строительства ГЭС. Она превратилась в мощное движение общественности. Приведу лишь несколько фактов, характеризующих это явление.

7 февраля 1988 г., когда экспертиза была в разгаре, в «Комсомольской правде» появилась статья заведующего кафедрой природопользования Алтайского универси-



Астрагал лисохвостый из Катангинской котловины.



Жарки — самые популярные цветы Алтая.

тета В. С. Ревякина «Противостояние на Катунь». В ней была показана несостоятельность проекта и отмечен ложный патриотизм бывшего председателя Горно-Алтайского облисполкома М. Карамаява. «Катунь сегодня — не просто река. Это как бы символ перелома, на котором находится сейчас наше общественное сознание». Автор предложил создать «Фонд Катунь», в который вносили бы «не рубли, а деловые идеи, инженерные решения — как рациональнее решить энергетические проблемы Алтая, да и всей Сибири».

В июле 1988 г. состоялись Шукшинские чтения на родине писателя в с. Сростки, на которых резкой критике подверглась сама идея создания Катунской ГЭС. Свое негативное отношение к намеченному строительству выразили центральные средства массовой информации многочисленными статьями в газетах и журналах, выступлениях по радио и телевидению. Вместе с Б. С. Хоревым автор данного материала выступил в «Известиях» со статьей «Битва при Катунь», где основное внимание было уделено необходимости организации в стране Государственной экологической экспертизы, которая должна стать твердой гарантией создания и претворения в жизнь экологически надежных проектов.

Осень и зиму 1988/89 г. не утихали страсти вокруг Катунской ГЭС. Новые «круглые столы», выступления на телевидении, в печати привели к решению о проведении третьей по счету экспертизы проекта —

экологической. Была образована экспертная комиссия Госкомприроды РСФСР по рассмотрению этого проекта с доработками после экспертизы Госплана РСФСР. Необходимо было установить степень доработки проекта и оценить наиболее дискуссионные моменты, которые полностью не были освещены прежде. Возглавил экспертизу специалист по экономике природопользования академик Т. С. Хачатуров. Его помощниками стали географы-экологи, хорошо знающие проект, Н. Ф. Глазовский и Б. Б. Прохоров. Экспертизу провели в мае — июле 1989 г. Всего было привлечено 25 экспертов по вопросам охраны природы, памятников культуры, по водным проблемам, ихтиологии и т. п.

На этот раз проектировщики имели жалкий вид. Знание проблемы и квалификация экспертов были настолько высоки (большинство из них доктора наук, ведущие специалисты страны в своих областях), что практически никакой дискуссии с проектировщиками не получилось. Ранее отмеченные негативные последствия создания водохранилища дополнились новыми. В частности, ботаники подчеркивали, что в долине Катунь сосредоточен неисполнимый генофонд ценнейших лекарственных, декоративных, технических и других полезных растений. Это один из центров разнообразия смородины, облепихи, а также ареал сортов ревеня, лука, щавеля, отличающихся зимостойкостью и повышенным содержанием витаминов. Создание водохранилища сократило бы их площади примерно на 40 %.

Наиболее яркий пример — облепиха. В Сибири она встречается на площади 7059 га, из них алтайская популяция занимает 1500 га и приурочена к долине Катунь. Алтайская облепиха — сырьевая база Бийского завода,

где ежегодно производится 800 т масла в виде аэрозолей и других препаратов общей стоимостью 7 млн. руб. в ценах 1987 г. Эта популяция приспособлена к пойменному режиму реки с двухпиковым паводком (один — при таянии снежного покрова в начале вегетации, другой — при таянии ледников и снегов высокогорья в период созревания ягод). Второго паводка при зарегулировании стока Катунки уже не будет.

У противников создания ГЭС недавно появился новый весомый юридический аргумент. 1 января 1989 г. наша страна подписала Конвенцию ЮНЕСКО об охране всемирного природного и культурного наследия. В соответствии с этим весь Горный Алтай должен быть целиком принят под охрану вслед за Байкалом. Долина Катунки, Телецкое озеро и прилегающая тайга — настоящие жемчужины природы — должны сохраниться для всего человечества.

В результате экологической экспертизы 1989 г. был сделан вывод о нецелесообразности проведения дополнительных научных и производственных изысканий по проекту о необходимости его отклонения. Комиссия рекомендовала Совету народных депутатов Горно-Алтайской области (ныне Горно-Алтайская республика) и правительству России решить вопрос о продолжении работ, связанных с созданием социальной инфраструктуры, но без Катунской ГЭС.

Итак, проект Катунской ГЭС, оценивавшийся в 1,3 млрд. руб. (по состоянию на 1989 г.), оказался уязвимым со многих сторон. Казалось бы, на этом можно поставить точку. Технократический подход потерпел поражение.

Но, опять же... Не дописана еще последняя страница эпопеи, связанной с обсуждением Катунского проекта. Гидротехники отвергают экологические приоритеты при оценке целесообразности строительства ГЭС. На основании того, что многие негативные экологические последствия не поддаются сегодня прямой стоимостной оценке (как, скажем, оценить красоту уникальной долины или снижение температуры воздуха на несколько градусов?), проектировщики вообще игнорируют многие замечания экспертов. Наиболее серьезно, пожалуй, они

относятся к вопросу о возможном загрязнении тяжелыми металлами, в частности ртутью. Поэтому Гидропроект пытается привлечь иностранных экспертов по этому вопросу (мнение многих советских специалистов его не устраивает).

Есть еще один «ход» в арсенале проектировщиков и сторонников создания ГЭС, которых возглавляет В. И. Чаптынов, бывший первый секретарь обкома КПСС, ныне председатель Совета народных депутатов Горно-Алтайской республики. Вновь косметически доработать проект, уточнить некоторые детали и провести местную экологическую экспертизу (также с привлечением иностранных экспертов и фирм). А поскольку права районных, областных, краевых Советов народных депутатов ныне значительно расширились, появилась возможность признать результаты этой экспертизы правомерными и поставить в очередной раз вопрос перед правительством России о строительстве Катунской ГЭС.

Летом 1991 г. началась большая работа, которую возглавляют активисты Социально-экологического союза В. Л. Косенко и М. В. Черкасова. Детально обследуется каждый район Горного Алтая для выбора оптимального направления социально-экономического развития. По подсчетам этой группы, оказалось, например, что годовой дефицит энергии в регионе сейчас составляет примерно 100—150 млн. кВт·ч (для сравнения — проектная выработка Катунской ГЭС — 5,96 млрд. кВт·ч за год).

Массовое движение против проекта Катунской ГЭС по своей широте, остроте дискуссий, глубине проработки проблемы, всесторонности обсуждения сопоставимо разве что с борьбой против переброски части стока северных рек на юг. Но что же это по своему смыслу — «бунт» или революция? Хотелось бы верить, что революция, прежде всего в подходах к проектированию, гласности обсуждения и экспертизы крупных проектов, изменяющих природу, в которых должен доминировать экологический подход.

Открытия в Пегреме

А. П. Журавлев,
кандидат исторических наук
Петрозаводск

ПЕГРЕМСКАЯ комплексная экспедиция ведет многолетние исследования и обустройство культурно-исторического центра «Пегрема» в Заонежье. В 1991 г. изучался участок, на котором расположены огромные камни и гигантские каменные объекты, представляющие собой, по нашему убеждению, древнейшее святилище эпохи позднего энеолита (III—II тысячелетия до н. э.).

Святилище, общая площадь которого около 20 тыс. м², расположено в сосновом бору на значительном удалении от современного берега Онежского озера, в юго-восточной части всего археологического комплекса. Среди его многочисленных объектов особо выделяются громадные идолы зооморфной и антропоморфной форм, фигуры зверей и птиц (в том числе гигантская утка), фантастических размеров лики, чем-то похожие на изображения о. Пасхи. Встречаются камни с установленными на вершинах маленькими камушками — это сейды, предметы особого поклонения древних саамов; каменные кладки овальной и округлой формы; камни с «лунками» и «диски» из красного песчаника. Некоторые объекты или их определенные части (сильно гипертрофированные мужской и женский детородные органы) покрыты природной красной охрой.

Ничего подобного по энеолиту Европейского Севера наука еще не знала. Обнаруженное святилище можно связать с ранним этапом зарождения культа камня у предков древних саамов — одного из интереснейших и загадочных народов Северной Европы. Истоки культуры саамов уходят, как показывает Пегремское святилище, в глубокую древность.

Языческие божества со-



Гигантская лягушка в языческом святилище «Пегрема» (длина 1,5 м, ширина 0,96 м, высота 0,98 м).

хранили следы жертвоприношений (кости птиц и зверей), остатки ритуальных кострищ, сопровождаемых каменными кладками и красной охрой. В святилище все выглядит необычно и таинственно. К примеру — искусно высеченная древними камнетесами из огромного валуна гигантская лягушка. Вокруг этого идола уложены сколотые плиты в форме правильного круга, внутри которого горели ритуальные кострища и священный огонь в специально выложенной ванночке. Здесь же — вымостка из мелких камней и ритуальное захоронение. В лягушке, ориентированной на юго-восток, при различном освещении и с разных ракурсов можно увидеть то огромного морского змея, то медведя, то доброго идола — покровителя всего племени. На его груди —

следы ударов камнями: так «наказывали» божество, если оно в чем-то провинилось. Вместе с тем круглая каменная кладка оберегала его от злых духов и врагов. Все говорит о том, что со своим могущественным покровителем древние жители Пегремы обращались как с живым существом. И впрямь, колеблющееся пламя свечей, установленных на месте ритуальных кострищ, создает эффект оживающего гиганта-сфинкса. Все это производит сильное впечатление и на современного человека.

Открытие языческого святилища в Пегреме позволяет по-новому взглянуть на прошлое уникального района Северной Европы — Заонежья, расширить представления о его древнейших обитателях. Создание культурно-исторического центра в Пегреме даст возможность увидеть и оценить шедевры первобытного искусства, использовать их в современной культуре.

Стоунхенджские голубые камни

О. Вильямс-Торп, Р. С. Торп

Открытый университет
Милтон Кинз (Великобритания)

Предлагаемая вниманию читателей статья написана для нашего журнала британскими исследователями — геохимиком и археологом. Она касается происхождения голубых камней Стоунхенджа — одного из компонентов всемирно известного доисторического каменного круга, расположенного на юго-западе Англии, на равнине Солсбери. Проведенные недавно в Открытом университете исследования свидетельствуют о неугасающем интересе к Стоунхенджу, пик которого, пожалуй, пришелся на 60-е годы, когда широко обсуждалось его загадочное предназначение. Тогда астроном Дж. Хоукинс, подробно изучивший Стоунхендж, пришел к выводу, что он представляет собой «обсерваторию каменного века». Именно так называлась статья А. А. Гурштейна, опубликованная в «Природе» (1968, № 10). Некоторые выдержки из нее уместно привести здесь, чтобы познакомить читателей с внешним видом памятника.

«...Стоунхендж принадлежит к числу так называемых кромлехов. Кромлехи... постройки в форме кругов из вертикально врытых в землю отдельных каменных глыб характерны для Западной Европы конца каменного — начала бронзового века... До наших дней Стоунхендж сохранился лишь частично. Одни каменные монолиты использовались для последующего строительства, другие упали. ...Стержень архитектурной композиции... служит правильной формы кольцо из 30 вертикально вкопанных в землю тесаных камней весом около 25 т каждый... Кольцо вертикально установленных опор перекрыто горизонтальными плитами меньшего размера... Внутри каменного круга выделяются пять порознь стоящих трилитов — узких прямоугольных каменных ворот из двух вертикальных опор, перекрытых горизонтальной плитой, — расположенных подковой...»

«...Комплекс Стоунхенджа возводился между 1900 и 1600 гг. до н. э.... Вторая волна строительства началась около 1750 г. до н. э.... Люди другой культуры возвели первый ансамбль мегалитов, доставив по меньшей мере 82 камня, известных под названием «голубых». В минералогическом отношении «голубые камни» очень разнородны: это и изверженные породы, и песчаники. Камни привозили издалека... «Голубые камни» были установлены двумя concentрическими кругами... Впоследствии так называемые вессекские люди разобрали concentрические кольца из «голубых камней», заменив их на той же площади единым кольцом из вертикальных опор, перекрытых горизонтальными плитами. Гигантские камни — разнородность песчаника, который зовется в здешних краях сарсеном, — вырублены в нескольких десятках километров от Стоунхенджа...»

«...Завершая постройку, вессекские люди вновь пустили в дело пятитонные «голубые камни», установив их, по-видимому, в виде овала внутри сарсеновой подковы трилитов. Впрочем, «голубые камни» в основном расхищены, и сейчас представить себе достаточно точно картину их расстановки трудно...»

Обратим внимание читателей на выделенную фразу, имеющую отношение к происхождению голубых камней, которое обсуждают специалисты из Открытого университета.

НАИБОЛЕЕ привлекательны для туристов в Стоунхендже 25-тонные сарсеновые гиганты. Однако около 40 темноокрашенных четырехтонных камней имеют, с нашей точки зрения, ничуть не менее интересную историю.

Это в основном изверженные породы — долериты, риолиты и вулканические туфы, некоторые с голубоватым оттенком (который и дал название группе). Происхождение голубых камней является предметом почти 200-летней дискус-

сии. Поскольку такие породы не обнажаются на равнине Солсбери, сложенной меловыми осадками, возникло предположение, что голубые камни каким-то образом попали сюда из других районов: их принес сюда либо ледник, либо человек. С другой стороны, 25-тонные гиганты — явно осадочные, местные (подобные обнаружены в нескольких километрах от Стоунхенджа).

Источником голубых камней считали самые разные места — от Ирландии до много-

численных островов на каналах. В средние века даже существовало поверье, что на равнине Солсбери их принес великан Мерлин. В викторианский период полагали, что это ледниковые валуны, оставшиеся на равнине, когда ледники растаяли. Много тысяч лет спустя человек бронзового века использовал их при сооружении Стоунхенджа.

В 1923 г. петрограф Х. Х. Томас на заседании Общества древностей заявил, что ему наконец-то удалось открыть ро-



Сарсеновые гиганты и голубые камни Стоунхенджа.

дину голубых камней. Он отметил, что долериты содержат характерные белесоватые пятна величиной с горошину, и эта их черта обнаруживается в долеритах, встречающихся в горах Пресели на юго-западе Уэльса. Здесь же имеются выходы риолитов и вулканических туфов — двух других типов голубых камней. Томас предположил, что равнина Солсбери никогда не покрывалась ледником, поскольку здесь отсутствуют очевидные признаки ледниковых отложений. Таким образом, по его мнению, голубые камни были транспортированы в Стоунхендж человеком, возможно, по морю или рекам.

Интерпретацию Томаса поддерживали археологи, и она стала доминирующей. Однако некоторые все же полагали, что равнина Солсбери покрывалась ледником, особенно на

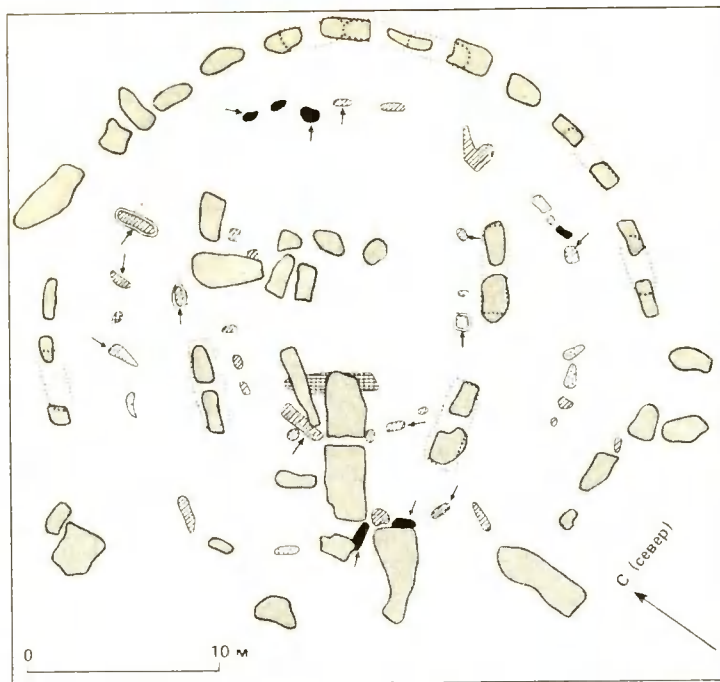
этом настаивал геолог Дж. А. Келавей.

Насколько же реально эпическое путешествие камней на плотах и по земле на расстояние около 240 км? Могло ли оно произойти в действительности? Нужны были более точные доказательства природы голубых камней.

В 1985 г. группа исследователей из Открытого университета, в которую вошли Р. Торп, Г. Дженкинс и Дж. Ватсон, занялась геохимическими исследованиями стоунхенджских голубых камней. Используя хорошо известный рентгенофлуоресцентный метод, удалось узнать точный химический состав пород. Поскольку каждое обнажение имеет свой собственный химический «отпечаток», ему подобрали пару среди голубых камней Стоунхенджа. Таким образом, мы смогли проверить, прав ли Томас, считая источником всех камней горы Пресели. Кроме того, стало возможным определить, происходят ли голубые камни из одного источника

или из разных обнажений. Если они были собраны человеком из-за какой-то особой притягательности пород (как считал Томас), можно было бы предположить, что все они возникли на ограниченном пространстве. Разнообразие же источников означало бы, что доисторический человек воспользовался породами из разных месторождений, возможно, смешанными ледником.

Мы обратились с нашими предложениями в «Английское наследие» — организацию, ответственную за Стоунхендж, и в октябре 1987 г. получили разрешение взять образцы из 15 голубых камней, пробуравив их. Внешние концы полученных кернов были возвращены «Наследию», чтобы скрыть следы бурения. Образцы после измельчения анализировались в Открытом университете, а также в Кильском и Саутхэмптонском университетах. Часть образцов была послана также коллегам в Бирмингем и в Калгари (Канада). Кроме того, мы проана-



- Сарсеновые плиты.
- вертикальные
 - горизонтальные
- Долериты:
- пятнистые
 - без пятен
- Риолиты
 - Вулканический туф
 - Песчаник
 - Места отбора проб

План центральной части каменных построек в Стоунхендже, на котором показан состав камней и места отбора проб.

лизировали образцы изверженных пород из Южного Уэльса. Предположение Томаса, что только в Южном Уэльсе имеются пятнистые долериты, оказалось правильным, и мы начали исследования в этом районе.

К 1989 г. мы получили и первые результаты. Долериты и

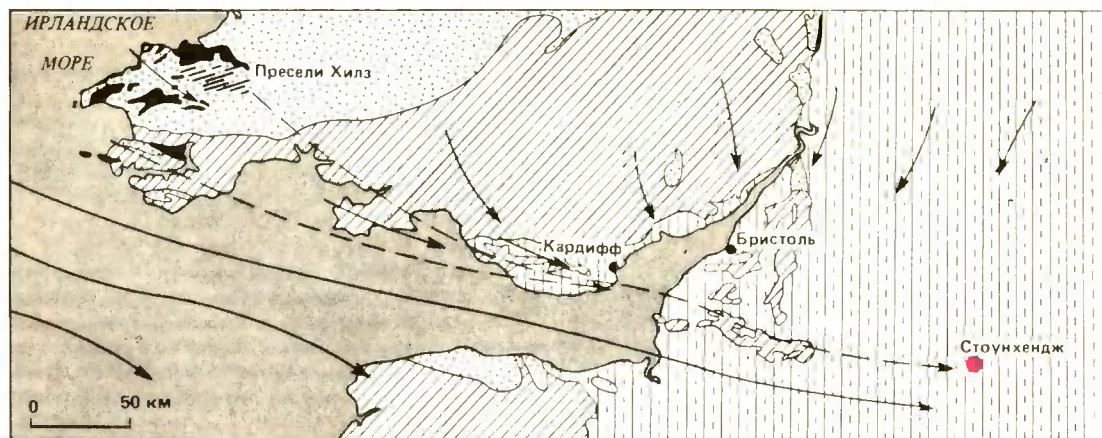
риолиты действительно образовались в Южном Уэльсе, но не в одной его части. Пятнистые долериты химически идентичны породам из трех обнажений в восточной части гор Пресели (включая знаменитое обнажение Кармении, упомянутое Томасом), а риолиты происходят по крайней мере из четырех обнажений. В целом же существует по меньшей мере семь источников голубых камней, отстоящих друг от друга на 30 км. Такой разброс, конечно же, исключает добычу камня из одного месторождения. Камни скорее всего были смешаны ледниками, только они могли собрать воедино породы из разных источников. Поскольку известно, что Южный Уэльс покрывался льдом не единожды, возник еще один вопрос: мог ли человек, построивший Стоунхендж, путешествовать в Пресели и собирать там камни из разных месторождений? Более вероятно, что ледник за сотни лет перенес камни к востоку, доставив их даже на равнину Солсбери.

Другими словами, нам необходимо было как можно больше знать о наиболее очевидных свидетельствах границ оледенения в Британии. Важное

его свидетельство — наличие так называемых эрратических валунов, принесенных ледником и оставленных при его отступлении. Такие валуны обнаружены вокруг южного Уэльса (от Хаверфордэста до Кардиффа), причем некоторые из них доставлены из Пемброкшира, расположенного недалеко от «источника» голубых камней. Валуны встречены также на одном из островов в Бристольском канале и на восточной стороне эстуария р. Северн, около Бристоля. Известно, что ледник продвигался так далеко примерно 400 тыс. лет назад, во время древнего оледенения Англии. Но нет доказательств, что валуны отсутствуют далее к востоку, а также между Бристолем и Стоунхенджем.

При изучении Северо-Американского и Скандинавского оледенений выяснилось, что большие ледниковые щиты (такие же, полагают, характерны для оледенения Англии) не оставляют явных следов в виде скоплений валунов, а разбрасывают их отдельными, рассеянными группами, отдаленными примерно на 100 км, между которыми могут находиться отдельные валуны (в среднем по одному на 10 км). Этим, возможно, и объясняется «валунный пробел» между Бристолем и Стоунхенджем. Правда, здесь нет и тонких гляциальных валунных глин, но они могут отсутствовать, поскольку голубые камни, видимо, падали в чистый лед, когда ледник «проплывал» через вершины гор Пресели.

Но если равнина Солсбери была действительно покрыта ледником, почему на ней нет других голубых валунов, кроме собранных в Стоунхендже? Археологи упоминают, что фрагменты голубых камней встречаются во многих археологических памятниках, но чаще не внутри, а рядом. Некоторые из них даже старше, чем голубые камни Стоунхенджа (2100 лет до н. э.). Так, голубой валун весом 340 кг, обнаруженный в длинном кургане на западе равнины Солсбери, предположительно на 1000 лет старше голубых камней Стоунхенджа. Вообще, специальных поисков валунов на равнине Солсбери геологи не проводили.



- Отложения:
- кембрия — нижнего девона
 - среднего девона — карбона
 - послекарбоновые
 - Изверженные породы
 - Направление ледниковых потоков

На геологической карте юга Уэльса и юго-западной части центральной Англии видно, что источники голубых камней приурочены к изверженным породам. Показаны также основные направления ледниковых потоков во время оледенения Англии.

(В первой половине века их искали севернее.) Кроме того, голубые камни могли сдвинуть с места местные фермеры.

Округленные, со следами выветривания голубые камни,

сходные по внешнему виду с валунами и явно непригодные для строительства, еще в 1920 г. были обнаружены в самом Стоунхендже во время земляных работ. Этот ставший известным лишь недавно факт мог бы служить серьезным аргументом в пользу теории их транспортировки человеком, но имеется еще одно свидетельство.

Геолог Ян де Лак, путешествовавший в конце XVIII — начале XIX в. по равнине Солсбери, оставил малоизвестный отчет о своем путешествии. Он рассказывает, что в 1809 г. область около Стоунхенджа была заполнена валунами ледникового происхождения, а также гранитами и траппами (старинное название базальтов или долеритов). Эти валуны собирали с полей, предназначенных для посевов. (По опыту Северной Европы известно, что общей практикой было закапывать ненужные камни в ямы.) В отчете также отмечается, что эти кам-

ни были бы полезны тем, кто занимается происхождением Стоунхенджа.

Итак, мы имеем явные подтверждения того, что стоунхенджские голубые камни представляют собой смешанную группу пород, происходящих из нескольких источников, и с некоторым сожалением вынуждены расстаться со сказками о доисторическом человеке, переправлявшем на плотах голубые камни вдоль побережья южного Уэльса. В действительности на равнине Солсбери они попали в результате «путешествия» на ледниковом щите.

Материал подготовила
М. Ю. Зубрева

Оксидная керамика и новые высокотемпературные конструкционные материалы

А. Я. Шиняев



Анатолий Яковлевич Шиняев, доктор технических наук, профессор, сотрудник Всесоюзного научно-исследовательского и проектного института тугоплавких металлов и твердых сплавов. Автор серии монографий по высокотемпературным свойствам металлических и других материалов при нормальном и высоком давлении.

БАЗОВЫМИ материалами в машиностроении являются материалы с высокой стойкостью к воздействию температуры на их свойства. В то же время они должны иметь определенный запас пластичности и быть устойчивыми к высокотемпературному окислению. Такие материалы составляют класс жаропрочных конструкционных материалов, определяющих необходимый уровень развития всех тепловых установок, которые в настоящее время используются в народном хозяйстве.

Жаропрочные материалы для машиностроения получают на основе чистых металлов при традиционном их легировании. При этом добиваются заметного улучшения свойств либо путем введения различных элементов, из которых наибольшее значение имеют тугоплавкие металлы (молибден, вольфрам и т. п.), либо путем образования в сплавах тугоплавких соединений. Имеется большой набор запатентованных у нас и за рубежом составов конструкционных жаропрочных сплавов, созданных на основе алюминия, титана, никеля, железа и тугоплавких металлов. Принципом разработки такого типа сплавов является преодоление взаимосоключающего действия прочности и пластичности — так как чем выше прочность сплавов, тем ниже их пластичность, и наоборот.

В настоящее время рабочая температура материала в двигателе внутреннего сгорания при использовании наиболее жаропрочных сплавов находится на уровне 1050 °С. Вводя дополнительные добавки тугоплавких металлов и карбидных составляющих, можно повысить рабочую температуру на 50—80 °С, однако при этом материал становится хрупким и непригодным для применения.

Главной задачей современного материаловедения можно считать создание жаропрочных материалов с рабочей температурой, превосходящей 1100 °С. Это позволило бы существенно повысить мощность и рентабельность двигателей внутреннего сгорания. Возможность создания такого рода материалов играет особую роль в развитии авиационной техники, поскольку пропорцио-

нально улучшению характеристик таких двигателей улучшаются летные характеристики самолетов.

Здесь мы сделаем попытку систематизировать результаты исследований по разработке направлений повышения жаропрочности металлических сплавов путем введения в них новых упрочняющих составляющих (интерметаллидов, оксидных включений и т. п.) и создания материалов композиционного типа. Рассмотрим также возможности создания новых жаропрочных материалов на оксидной основе, получение которых стало возможным благодаря открытию необычных свойств, относящихся к интерметаллидам и оксидной керамике.

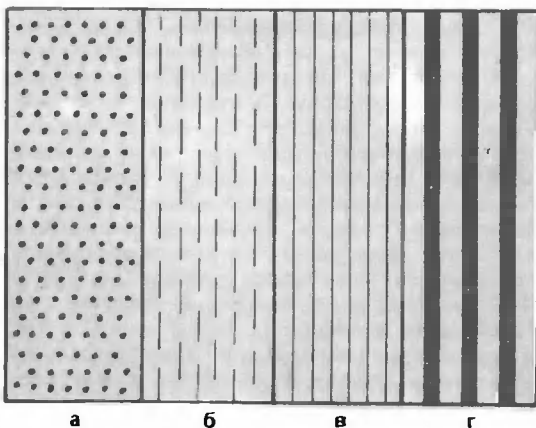
МОЖНО ЛИ ПОВЫСИТЬ ЖАРОПРОЧНОСТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ?

Значительным резервом в повышении жаропрочности металлических сплавов является упрочнение их путем введения дисперсных частиц (размерами 30—50 нм) тугоплавких соединений, равномерно распределенных в матрице сплава. Такими частицами могут быть оксиды, которые не образуются в сплавах при затвердевании расплавов. Их вводят в сплав методом порошковой металлургии с использованием высокоэнергетических установок для измельчения и смешивания порошков¹.

Весьма перспективным является создание сплавов композиционного типа с упрочнением в виде нитевидных кристаллов диаметром 5—10 мкм и длиной 0,5—2,0 мм или же в виде волокон из тугоплавких соединений. Последние служат упрочняющим каркасом для металлических сплавов и способствуют сохранению прочностных свойств при повышении температуры.

Возможно также создание многослойных композиционных материалов, получаемых прокаткой.

Опыт показал, что создание композиционных материалов позволяет повысить рабочую температуру жаропрочных никелевых сплавов, составляющих основу авиационного моторостроения, на 50—100 °С. Однако из-за сложности технологического процесса и большого разброса свойств приведенные способы упрочнения сплавов в промышленности реализуются недостаточно. Тугоплавкие металлы, хотя и обладают высокой температурой плавления (до 3400 °С), интенсив-



Композиционные материалы представляют собой сложное образование из двух или более фазовых составляющих, в которых основа упрочняется одним из следующих способов: включениями оксидов (а), нитевидными кристаллами тугоплавких соединений (б), волокнами карбидов, графита, бора и др. (в), чередованием слоев основы и упрочняющей фазы (г).

но окисляются при температуре выше 800 °С. Они могут быть использованы как жаропрочный материал только при кратковременном применении.

Ограничивающим моментом в использовании любых материалов при высоких температурах является повышение концентрации точечных дефектов в кристаллической решетке (образование вакансий) и, как следствие этого, ускорение диффузионных процессов (миграция атомов) с размягчением материала. В композиционных материалах жаропрочность несколько выше.

Как будет показано ниже, создание материалов с более высокой жаропрочностью стало возможно лишь при усилении в них межатомной связи.

МЕЖАТОМНАЯ СВЯЗЬ И НОВЫЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

Межатомную связь во всех материалах можно усилить, если добиться упорядочения хаотично распределенных атомов. При этом материал получает новое структурное состояние, которое реализуется в интерметаллидах (в сплавах с упорядоченной структурой) и в тугоплавких соединениях (где в кристаллической решетке имеет место упорядоченное расположение металлических и неметаллических атомов).

В интерметаллидах и тугоплавких соединениях, в частности оксидах, межатомное взаимодействие усиливается за счет появления новых видов связи. В интерметаллидах

¹Шиняев А. Я. // Технология легких сплавов. 1977. № 11. С. 72—83.

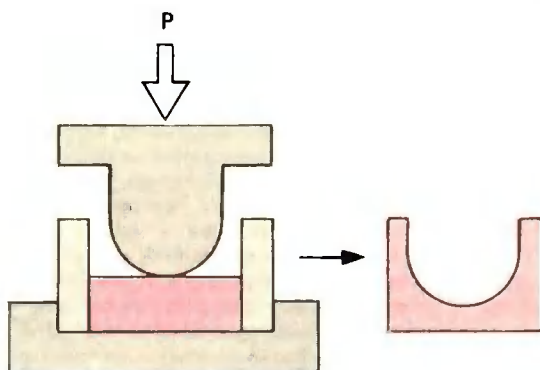
помимо металлической связи между атомами существует и ковалентная. Часть электронов при этом прочно связывается с атомами, тогда как при металлической связи все электроны свободны. В тугоплавких соединениях связь между атомами становится ионно-ковалентной или же чисто ионной, когда все электроны связаны. Переход к более сильной межатомной связи приводит к качественно новым свойствам материала, наиболее характерным из которых является повышение термической стабильности всех свойств материала. Изменение свойств металлических материалов при усилении в них межатомной связи наиболее ярко проявляется в интерметаллидах, которые могут рассматриваться как переходное звено от металлических материалов к оксидным.

Интерметаллиды давно интересовали материаловедов как средство к созданию новых жаропрочных материалов. В монокристаллическом виде интерметаллиды показывают заметную пластичность с очень низкой прочностью. Однако в поликристаллическом состоянии их прочность возрастает, они теряют пластичность и хрупко разрушаются. Это связано с тем, что ковалентная составляющая сил межатомной связи включает ряд систем скольжения в кристаллической решетке сплава при переходе от одного зерна к другому, и пластичность в полной мере не реализуется.

Преодолением ограниченной пластичности интерметаллидов интенсивно занимались исследователи разных стран, однако обилие затраченного труда и больших средств не привело к успеху и по сей день. Никакие ухищрения в смысле легирования и измельчения структуры не смогли придать интерметаллидам пластичности при комнатной температуре. И все же эти усилия не пропали даром. Об этом свидетельствует открытие необычных свойств некоторых интерметаллидов. Это относится прежде всего к интерметаллидам титана, и в особенности к никелиду титана NiTi.

Наряду с высокой пластичностью соединение NiTi обнаруживает новый, не характерный для чистых металлов и сплавов эффект деформационной памяти. Эффект этот обусловлен сложным процессом мартенситного превращения — перестройкой низкотемпературных модификаций при очень небольшом смещении атомов.

Эффект деформационной памяти нашел уже широкое применение в нашей жизни. С его помощью, например, антенна спутника Земли, специальным образом смятая в полосу (для уменьшения сопротивления при прохождении в атмосфере) с на-



греванием приобретает первоначальную раскидистую конфигурацию. Или в медицине, приготовленную определенным образом из NiTi спираль вытягивают в прямолинейную проволоку. Проволока вводится в атрофированный кровеносный сосуд человека, нагревается до температуры человеческого тела и восстанавливает прежнюю форму спирали. При этом больной сосуд расширяется до необходимых размеров. Специальным подбором легирующих элементов можно изменять цвет никелида титана от серебристого до золотистого. Искусственное золото применяют для изготовления золотых коронок.

Всего известно более тысячи интерметаллидов. Они, безусловно, таят в себе еще много неизвестных свойств². Однако не менее удивительные свойства показывают оксиды, о которых пойдет речь в следующем разделе.

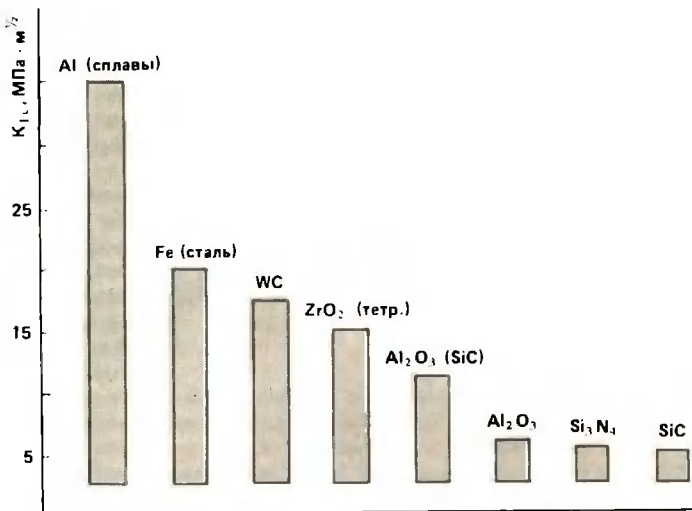
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОКСИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Пожалуй, самым неожиданным в науке за последние годы явилось открытие необычных свойств тугоплавких соединений. Еще несколько лет назад никто не мог и думать, что оксиды металлов с их хрупкостью и высокой энергией межатомной связи неметаллического типа могут обнаруживать сверхпроводимость и пластичность — свойства, характерные сугубо для металлов. Этот последним обстоятельством и объясняется долгий путь к открытию.

При изучении электрических свойств соединений системы $\text{La}_2\text{O}_3\text{—CuO—BaO}$ в конце 70-х годов было обнаружено увели-

² Ш и н я е в А. Я. Интерметаллиды и разработка сплавов нового типа. М., 1990.

В сверхпластичном состоянии оксидная керамика на основе ZrO_2 ведет себя подобно пластичным металлам, принимая под действием напряжения P любую сложную форму.



Таковы результаты сравнения для различных материалов значений коэффициента трещиностойкости K_{Ic} , соответствующего по своей величине напряжению зарождения микротрещины.

чение проводимости при повышении температуры. (В обычных металлах проводимость уменьшается при нагревании.) Однако в работах наших ученых не определялась электропроводность при низких температурах до перехода материала в состояние сверхпроводимости. Такое определение выполнили в 1986 г. швейцарские ученые А. Мюллер и Г. Беднорц, которым за открытие исключительной важности была присуждена Нобелевская премия.

Подтверждение учеными разных стран эффекта сверхпроводимости оксидных соединений с температурой перехода на $100^\circ C$ выше, чем у известных к тому времени сверхпроводников, было настолько неожиданным, что на длительный период стало главной темой научных дискуссий. Буквально во всем мире начались усиленные поиски способов скорейшего использования этого открытия для применения его в практических целях. Со временем была достигнута возможность получения сверхпроводящих свойств уже не только при гелиевых температурах, как это было раньше, но и при температуре жидкого водорода, а позже — при температуре жидкого азота. (Получение жидкого водорода и азота во много раз дешевле и проще, чем гелия.)

Наибольшую перспективу для применения настоящего открытия имеет при создании малогабаритных и во много раз более мощных источников магнитных полей. Оксидные материалы (оксидная керамика) обычно получают методом порошковой металлургии.

Новым сюрпризом при исследовании механических свойств оксидных материалов

оказалось открытие явления сверхпластичности в диоксиде циркония ZrO_2 . В самом деле, есть чему удивляться. Твердые и хрупкие, казалось бы, образцы при растяжении вдруг показывают удлинение на 200 %! Такое удлинение получено на тетрагональной модификации ZrO_2 , стабилизированной до комнатной температуры введением оксида иттрия (до 5 %) с дополнительным введением оксида алюминия (до 20 %). При такой пластичности материалов отпадает необходимость в обработке резанием и шлифовании полученных заготовок. Обработка такой керамики может проводиться прессованием с деформацией и экструзией, что позволяет получать детали сложной формы.

С открытием эффекта сверхпластичности сделан первый очень важный шаг на пути применения оксидной керамики в качестве жаропрочного материала для машиностроения. Так как в керамических материалах деформация сопровождается образованием трещин, их прочностные свойства определяются противодействием развитию микротрещин при наложении нагрузок. Степень этого противодействия характеризуют обычно напряжением K_{Ic} , при котором начинают расти трещины. Наибольшие значения K_{Ic} среди других керамических материалов показывает стабилизированный диоксид циркония. По трещиностойкости он приближается к материалам типа твердых сплавов, а по твердости и температуре применения превосходит их. Действительно, режущая керамика, изготовленная из оксида циркония с добавкой оксида алюминия, сохраняет свои свойства вплоть до $1000^\circ C$, тогда как твердые сплавы, применяемые для из-

готовления режущего инструмента, начинают размягчаться уже при температуре выше 800 °С.

В настоящее время оксидные керамики находят большое применение для механической обработки жаропрочных сплавов различного типа. Тем более, что существует реальная возможность улучшения их механических свойств.

ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОКСИДНОЙ КЕРАМИКИ

В целях практического использования необходимо добиваться, чтобы оксидная керамика сочетала в себе целый комплекс физических и механических свойств. Одним из путей в этом направлении является, прежде всего, увеличение плотности материала. В результате роста плотности керамики снижается общая пористость и значительно повышается ее трещиностойкость.

Пластические свойства оксидных материалов могут быть улучшены также за счет внедрения в них новых фазовых составляющих в виде дисперсных частиц (величиной 0,3—0,5 мкм), которые становятся препятствием на пути распространения микротрещин. Такое внедрение достигается путем создания материала композиционного типа с дисперсными включениями частиц, обладающих более высоким коэффициентом линейного расширения по сравнению с основой. Это, в свою очередь, приводит к образованию напряженного участка и торможению развития трещины.

Трещиностойкость оксидной керамики можно повысить и путем введения нитевидных кристаллов тугоплавких соединений, таких как SiC, Al₂O₃ и т. п., а также путем армирования волокнами различных соединений.

Новым направлением в повышении механических свойств оксидной керамики явилась разработка высококачественной керамики с использованием дисперсных порошков и контролируемых условий спекания. Возможности закрытия пор значительно возрастают при переходе к измельченным структурам с фрагментами менее 0,1 мкм, в которых в условиях горячего изостатического прессования развивается достаточная для закрытия пор пластичность. Высокая дисперсность относится прежде всего к упрочняющим включениям материала. Последние должны быть равномерно распределены в основе. Только в этом случае выявляется значительный эффект в повышении трещино-

стойкости и прочности керамических материалов.

Дисперсные порошки с фракцией менее 0,1 мкм могут быть получены при использовании специальных технологий, из которых наиболее перспективными являются плазменные и химические (механические) способы измельчения порошков не позволяющие выйти на размер менее 0,1 мкм). С помощью высокочастотных плазмотронов, работающих в режиме низкотемпературной плазмы (с температурой 3000—4000 °С) можно получать порошки оксидов до 0,01 мкм. Для получения более мелкодисперсных порошков (до 0,005 мкм) используют высокотемпературные плазмотроны (с температурой до 100 000 °С) и применяют химические методы, основанные на сильнонеравновесных процессах.

Дисперсные порошки оксидов и других соединений отличаются высокой реакционной активностью при взаимодействии с другими порошками, при этом изменяются все физико-химические свойства получаемых из них материалов (снижается температура плавления, повышаются трещиностойкость и пластичность). При размерах частиц менее 0,03 мкм порошки теряют кристаллическую структуру — они становятся аморфными, что еще в большей степени повышает активность ко взаимодействию при спекании в любых комбинациях. Получение и использование таких порошков — это новая страница в создании керамических материалов.

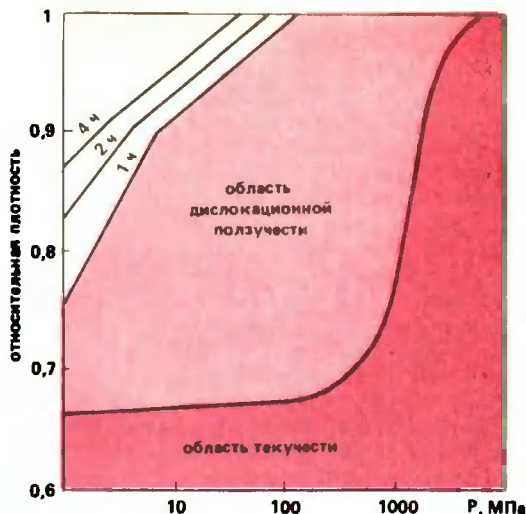
С освоением мелкодисперсных порошков резко возросли трудности в подготовке их смесей с равномерным распределением компонентов. Такие порошки сильно агломерируют (слипаются), что затрудняет их перемешивание. Чтобы исключить эту операцию, смеси из наиболее мелкодисперсных порошков получают сразу в нужном химическом и фазовом составе уже в процессе их приготовления. Необходимо отметить, что проведение исследований и технологических операций с дисперсными порошками (менее 0,05 мкм) требует соблюдения специальных предосторожностей. Такие порошки свободно проникают сквозь поры кожи и могут попасть в организм человека, что может быть очень опасно.

Традиционно применяемый метод формирования заготовки из заданной смеси порошка (обычно микронной величины) с последующим спеканием в разреженной инертной среде или на воздухе, без приложения давления, не позволяет получить плотность материала выше 97—98 %. В целях повышения плотности проводят дополнительное спекание в условиях горячего

изостатического прессования. Процесс спекания проводят в газостатах, под воздействием газового давления, достигающего 200 МПа. Газостаты применяются и для спекания других видов порошков и, кроме того, для уплотнения литых заготовок в металлургической промышленности.

Горячее изостатическое прессование с его строго контролируруемыми условиями спекания становится сейчас основным способом получения керамик повышенного качества. При этом процесс спекания от начала до конца проходит под воздействием давления, в результате чего повышается плотность материала. Преимущества горячего изостатического прессования могут быть реализованы только при правильном выборе основных параметров процесса: давления, температуры, времени. Скорость спекания изменяют в зависимости от размеров (мелкие порошки быстрее спекаются) и химического состава порошка, поэтому достаточно рациональный выбор параметров может быть сделан только при знании всех закономерностей процесса применительно к данному виду порошка.

Изучая процесс спекания в условиях горячего изостатического прессования, можно прийти к выводу, что важным фактором, определяющим уплотнение при температуре спекания, является давление. При малых давлениях (менее 100 МПа) в прессовках с плотностью порядка 65 % усиленно развиваются процессы миграции атомов — диффузии по границам зерен. Это происходит в результате деформации порошка и образования в деформированном объеме большой плотности различных кристаллических дефектов, в частности краевых дислокаций, по которым осуществляется межкристаллитная диффузия. При дальнейшем уплотнении и с увеличением контактов между частицами порошка появляется вероятность миграции атомов в объеме зерен, которая на окончательной стадии спекания становится определяющим процессом. Если повысить давление в газостате, то уплотнение спекаемого материала проходит с усиленной пластической деформацией и заканчивается дислокационной ползучестью. Наступает объемное течение материала, контролируемое процессами миграции по границам и в объеме зерна. При еще больших давлениях и температуре развивается настолько интенсивная деформация, что материал переходит в состояние текучести с ускоренным уплотнением. Текучесть материала возрастает с уменьшением размеров исходного порошка, что приводит также к уменьшению продолжительности процесса спекания.



Пример спекания порошков оксида циркония с размером частиц 0,6 мкм при 1400 °С. Из диаграммы видно, что чем выше плотность материала, тем больше должно быть давление P (на рисунке дано в логарифмическом масштабе), необходимое для начала объемного течения материала.

Процесс спекания порошковой смеси может быть описан диаграммами зависимости степени уплотнения от приложенных давления, температуры и продолжительности процесса.

Анализ свойств оксидной керамики, полученной при спекании дисперсных порошков с применением горячего изостатического прессования, приводит к следующему выводу. Полное закрытие пор в оксидных материалах можно получить только при использовании тонкодисперсных (менее 0,1 мкм) двухфазных или многофазных порошковых смесей и спекании при 1400—1500 °С и давлении более 100 МПа, когда появляется значительная текучесть материала.

Установленные закономерности и разработанные способы спекания позволяют создавать разнообразные оксидные керамические материалы, имеющие практическое значение.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ПРИМЕНЕНИИ ОКСИДНОЙ КЕРАМИКИ

В настоящее время основные разработки практически важных керамических материалов осуществляются на основе системы $Al_2O_3-ZrO_2$. Наиболее высокие показатели прочности на образцах этой системы получены при содержании в таком материале 20 об. % ZrO_2 со стабилизацией тетрагональ-

ной модификации последней с помощью добавок Y_2O_3 , MgO , CeO_2 или др. При этом отмечено возрастание прочности на изгиб с 260—400 МПа для чистого Al_2O_3 до 1080 МПа для композиции $Al_2O_3-ZrO_2$ при возрастании трещиностойкости с 4 до 10 МПа·м^{1/2}. Но этого недостаточно для решения многих технических проблем.

Для придания определенных свойств керамике на основе оксида алюминия в качестве добавок применяются кроме оксида циркония также оксиды хрома, кремния, титана и карбиды, в частности SiC. Известны керамические материалы на основе оксида алюминия, обладающие широким набором важных свойств. Они используются при изготовлении промышленных деталей, которые обязаны обладать высокой твердостью, быть устойчивыми при нагреве и воздействии окисления.

В последнее время все чаще отмечается перспективность более широкого промышленного использования оксида циркония с тетрагональной модификацией. Такая керамика становится конкурентной для твердых сплавов, содержащих в большом количестве вольфрам, а также для жаропрочных сплавов, применяемых при создании матриц горячего прессования титановых сплавов, оправок для горячего волочения, сеток для фильтрации жидкого чугуна, различного типа вставок дозаторов, датчиков контроля в жидкометаллических средах и в других случаях.

Из высококачественной керамики в разных странах изготавливаются износостойкие детали двигателей внутреннего сгорания (поршни, цилиндры и другие детали автомобильной промышленности). На 90-е годы в США планируется использование высококачественной керамики для изготовления конструктивных деталей газотурбинных двигателей, составляющих основу авиационной техники. Еще более широкая программа использования этих материалов начинает реализовываться в Японии, где усиленно разрабатываются новые технологические процессы получения изделий из высококачественной керамики³.

Особое место в применении керамических материалов занимает электронная промышленность, где используются электрические (пьезоэлектрические и полупроводниковые) свойства оксидной керамики. Количество получаемых керамических изделий в передовых странах мира постоянно

растет⁴ с учетом прироста целенаправленного выделения финансовых средств ежегодно в среднем на 5 %.

Возможности разработки керамических материалов с различными свойствами могут быть значительно расширены при освоении промышленной технологии получения дисперсных (до 30 нм) и высокодисперсных (менее 30 нм) порошков сложных композиций. Наилучшую перспективу имеет создание высококачественной оксидной керамики, отличающейся устойчивыми прочностными и некоторыми другими свойствами.

В последние годы проводятся широкие исследования по разработке керамических материалов на основе оксида циркония с различными добавками. Наиболее перспективным для этих целей оказался оксид алюминия. Японская фирма «Тоё сода» разработала серию особо чистых и дисперсных порошков ZrO_2 , частично или полностью стабилизированных с помощью одной из добавок: Y_2O_3 (3—5 %), MgO (9 %) или CeO_2 (15 мол. %). В результате был получен материал с исключительно высокими прочностными свойствами. Наибольшими значениями прочности на изгиб обладают композиции ZrO_2 (тетр.) — 20 об. % Al_2O_3 . При 20 °С прочность этих материалов составляет⁵ 2400 МПа. С ростом температуры до 1000 °С прочность сохраняется на уровне 800 МПа.

Такое резкое возрастание (более чем в два раза) прочностных свойств связано с разработкой специальной технологии получения исходных порошков оксидов. Позднее фирма «Тоё сода» представила материал ZrO_2 (тетр.) — Al_2O_3 (20 %), полученный с использованием ультрадисперсного порошка с размерами частиц 0,01 мкм. Сверхпластичное состояние его сопровождается удлинением более чем на 200 %, а прочность на изгиб составила 2500 МПа (что сравнимо с прочностью стали и на 800—1000 МПа выше, чем у керамических материалов на основе нитрида и карбида кремния). Имеются данные, что при таких размерах частиц исходного порошка в сверхпластичное состояние переходят также оксид алюминия, нитрид кремния, карбид кремния и другие керамические материалы.

Создание высокопрочной керамики на основе оксида циркония в сочетании с возможностью деформирования открывает

³ Шиняев А. Я. Оксидная и оксикарбидная керамика. М., 1991.

⁴ Тонкая техническая керамика / Под ред. Янагида Х. Пер. с яп. М., 1986.

⁵ Tsukuma K., Meda K., Shimada M. // J. Amer. Ceram. Soc. 1985. V. 62. N 1. P. 4—5.

исключительную перспективу применения ее в различных отраслях промышленности. Особое значение такая керамика приобретает для машиностроения в связи с необходимостью создания деталей высокотемпературных узлов, получения режущих пластин для обрабатывающих инструментов, использования в датчиках и устройствах, работающих в экстремальных по температуре и окислению условиях, а также в электронике.

Современный этап исследований в разработке новых высокотемпературных конструкционных материалов с использованием оксидов и других тугоплавких соединений характеризуется изучением возможностей одновременного повышения их прочностных и пластических свойств. Основным направлением в решении этой задачи является совершенствование уже известных и разработка новых способов получения высокодисперсных порошков с размерами частиц менее 100 нм, а также освоение методов равномерного распределения всех составляющих компонентов в материале. Решение этих вопросов в большой мере связано с расширением применения плазменных методов получения дисперсных частиц порошка и разработкой оптимальных режимов спекания с использованием метода горячего изостатического прессования.

Открытие пластических свойств оксида циркония предоставило прекрасную возможность получать на его основе материалы, обладающие высокой прочностью, и изготавливать из них практически без дополнительной обработки детали с размерами, близкими к заданным. Благодаря стойкости к высоким температурам и к воздействию агрессивных сред эти материалы могут быть использованы в узлах различных агрегатов, подверженных воздействию высоких температур, в частности в моторостроении, при изготовлении инструментов для горячей обработки металлов и т. п. Особенно перспективно их применение при проектировании деталей на сжатие и истирание. Керами-

ческие материалы обладают некоторыми недостатками, такими, например, как хрупкость и пониженное сопротивление тепловому удару. При борьбе с этими недостатками большие надежды возлагают на использование композиционного строения с упрочнением из нитевидных кристаллов или волокон тугоплавких соединений.

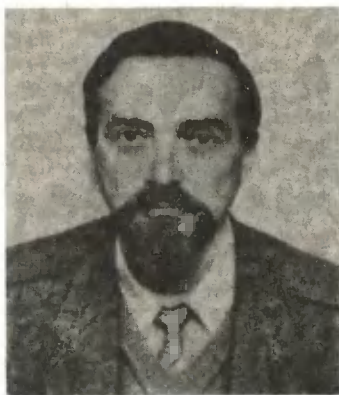
С освоением оксида циркония расширяется применение оксидной керамики для изготовления пластин режущего инструмента, при этом режущие свойства могут быть значительно улучшены при упрочнении нитевидными кристаллами карбида кремния. Полученный таким образом композиционный материал уже сейчас позволяет в четыре раза повысить скорость резания труднообрабатываемых материалов по сравнению с традиционными твердыми сплавами, применяемыми в инструментальной технике.

Большое значение для развития электроники имеют керамические оксидные материалы с различными физическими свойствами. Они находят применение при изготовлении конденсаторов, резисторов, подложек и корпусов интегральных схем, а также элементов солнечных батарей, модуляторов света и многих других приборов.

Освоение оксидной керамики открывает возможности использования ее также в качестве высокожаропрочного материала. Это уже сейчас может дать большой эффект при соответствующей конструкторской разработке высокотемпературных агрегатов нового типа, где керамические детали могли бы работать в основном на сжатие, или же путем создания комбинированных деталей, сочетающих металлические и керамические материалы. В Японии такие детали уже начинают устанавливать на автомобилях, при этом используются как цельнокерамические, так и комбинированные материалы с нанесением на металл оксидного слоя. Применение таких деталей, помимо всего остального, будет способствовать повышению мощности двигателей внутреннего сгорания и созданию более чистой экологической атмосферы вокруг них. Исследования в этом направлении получают все большее развитие и в нашей стране.

Жизнь в пресных водах: происхождение и развитие

С. Я. Цалолыхин



Семен Яковлевич Цалолыхин, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Зоологического института РАН. Участник ряда экспедиций в Центральную Азию и Африку. Научные интересы связаны с систематикой и зоогеографией свободноживущих нематод. Автор нескольких монографий, в том числе: *Свободноживущие нематоды Байкала* (Новосибирск, 1980); *Нематоды пресных и солоноватых вод Монголии* (Л., 1985).

В ЧЕМ суть проблемы, не тривиальна ли тема, вынесенная в название статьи, ведь она имеет давнюю историю в научной литературе и, на первый взгляд, кажется очевидной? И все же при всей своей очевидности многие стороны этой проблемы скорее феноменальны, чем очевидны. Так, например, феноменально сходство мейобентоса (организмов, чьи размеры не превышают 3 мм) пресных водоемов всего земного шара: пробы из Подмоскovie, тропической Африки, Заполярья, Антарктики, Австралии или Бразилии практически неотличимы друг от друга; только углубленный анализ на видовом уровне позволяет понять, откуда материал поступил. Столь же феноменален факт сходства пресноводной и морской фауны. Именно сходства! Хотя все зависит от того, что и как сравнивать. На первый взгляд, кажется, что морская фауна значительно богаче и разнообразнее, нежели пресноводная, однако на уровне типов последняя ненамного уступает морской.

ПРЕСНОВОДНАЯ БИОТА ВТОРИЧНА

Число типов многоклеточных животных в системах разных авторов различно и колеблется от 15 до 30, но в любом случае две трети типов имеют представителей и в море, и в пресных водах (это амфибионтные типы). Представлены они могут быть по-разному: от нескольких видов, например, кишечнополостные (Coelenterata), до нескольких отрядов с сотнями видов, как моллюски (Mollusca) или членистоногие (Arthropoda). И только одна треть типов объединяет чисто морских животных. Это — гребневники (Ctenophora), иглокожие (Echinodermata), плеченогие (Brachiopoda) и др. Следует обратить внимание, что чисто пресноводных типов вообще не существует. Оговоримся, что мы не учитываем типы чисто паразитических животных, подобных скребням (Acanthocephala), а также типы, в которые входят менее 100 видов и которые, по существу, не имеют таксономической структуры.

Углубляясь в таксономическую структуру типов, мы все больше и больше бу-

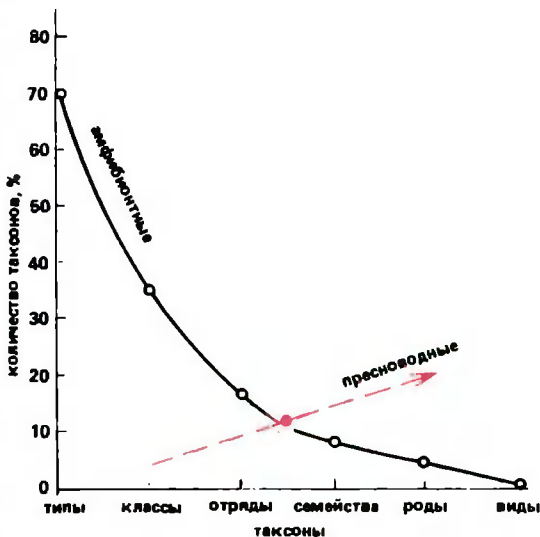
дем обнаруживать несходство фаун моря и пресных вод. Так, на уровне классов лишь 35 % встречаются в обеих водных средах. Тенденция размежевания нарастает по мере снижения таксономического ранга и достигает предела на уровне вида. Иначе говоря, не существует видов, обитающих с равным успехом как в море, так и в пресных водах (хотя есть виды, которых можно обнаружить и там, и там): либо жизненный цикл вида не может завершиться в одной среде, как, например, у проходных рыб, либо численность вида в одной среде ничтожна по сравнению с его численностью, как правило, колоссальной, — в другой (ракообразные, моллюски, нематоды и т. д.).

Подсчитать число отрядов и семейств в различных водных средах крайне сложно хотя бы потому, что нет единой, принимаемой всеми исследователями, структуры конкретных классов и отрядов. Однако, зная количество обитающих в обеих водных средах типов (60—70 %), классов (35 %) и видов (0 %), можно построить кривую, которая покажет, что среди всех водных многоклеточных примерно 17 % отрядов так или иначе представлены и в море, и в пресных водах, 7—9 % семейств и только около 5 % родов.

Итак, разобщение фауны моря и пресных вод идет от типа к виду, в этом направлении увеличивается число специфических для пресных вод таксонов. Эта тенденция также иллюстрируется прямой, проведенной в той же системе координат, что и «амфибионтная» кривая. Найти точку, соответствующую относительному числу пресноводных видов крайне трудно, однако грубые оценки позволяют считать, что из всей водной фауны многоклеточных животных в пресных водах обитает 20 % видов.

Что касается типов, то, как отмечалось, пресноводных типов не существует, как, впрочем, и классов. Прямая, таким образом, демонстрирует не столько соотношение пресноводной фауны и морской, сколько тенденцию в развитии первой. Примечательно, что точка пересечения «амфибионтной» кривой и «пресноводной» прямой соответствует 10 %-ному уровню и таксону в ранге подотряда (или надсемейства). Точка эта должна быть также отнесена к категории феноменов, но о ее смысле поговорим позже.

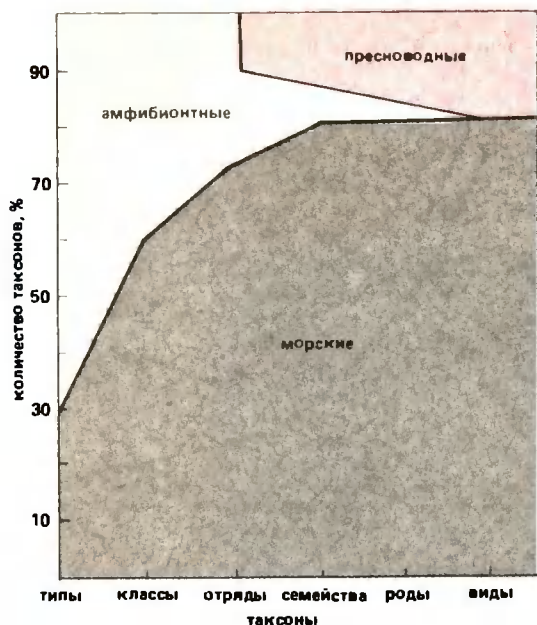
Если изобразить интересующие нас зависимости в иной форме — в виде диаграммы, то вся нижняя часть будет занята областью относительного таксономического многообразия чисто морской фауны, верхняя — пресноводной, а средняя будет пред-



Число таксонов многоклеточных животных в водной среде. Видно, что амфибионтных таксонов становится меньше по мере снижения ранга, а пресноводных — больше.

ставлена «амфибионтной» фауной. Каждый из фрагментов диаграммы имеет свою специфическую конфигурацию, которая позволяет сделать выводы о месте появления, становления и развития водной фауны. Тот факт, что нет ни одного чисто пресноводного типа, но есть чисто морские, может говорить только о том, что корни типогенеза лежат в море. Типы не возникают сразу, они формируются постепенно в процессе накопления признаков и возникновения иерархической структуры, поэтому становление и развитие типа как такового требует значительного времени. Отсутствие пресноводных типов можно объяснить недостатком времени пребывания исходных форм в новой среде. Типогенез многоклеточных начинался и осуществлялся в море, иными словами, пресноводная фауна вторична по отношению к морской.

Любой тип (класс, отряд...) «начинается» с вида, но чтобы тип (класс, отряд...) состоялся, должны включиться многочисленные эволюционные механизмы: мутационный процесс, дрейф генов, естественный отбор, изоляция и т. д. Исходные для пресноводной фауны виды возникли в море, проникли в пресные воды и здесь дивергировали, образовав самостоятельные семейства и отряды. Но теперь возникает вопрос — как?



Соотношение числа морских, амфибионтных и пресноводных таксонов многоклеточных животных.

ПРЕСНОВОДНАЯ БИОТА ВОЗНИКЛА ЭКОСИСТЕМНО

Относительное число (разнообразие) чисто морских семейств, родов и видов одинаково и составляет примерно 80 % общего числа каждого из этих таксонов, представленных в водной среде. Разнообразие же чисто пресноводных таксонов увеличивается от отряда к виду, а у амфибионтных, наоборот, заметно сокращается. Последнее указывает на то, что эволюция сдвигает амфибионтные таксоны в сторону пресноводности. Такой процесс возможен только при одном условии — ряды амфибионтных таксонов не пополняются или пополняются крайне незначительно, т. е. нет постоянного, неукоснительного проникновения морской фауны в пресные воды, чего следовало бы ожидать в случае, если она проникает из моря через эстуарии рек.

Чем объяснить, что разнообразие пресноводных таксонов по мере снижения их ранга увеличивается, а амфибионтных — сокращается? Только тем, что «амфибионтность» всех таксонов возникает сразу, однократно, и в дальнейшем идет процесс лимноаккреции (от греч. *limne* — озеро, болото и лат. *accretio* — приращение, прибав-

ление). Сначала чисто пресноводными становятся виды, и число их растет за счет занятия все новых и новых экологических ниш. Затем, по мере роста дивергенции, начинают формироваться новые, уже чисто пресноводные роды, далее — семейства и, наконец, отряды. Такое однократное возникновение потенциальной пресноводной фауны, а вернее, экосистемы, возможно лишь в случае мощной трансгрессии Мирового океана, в результате которой образовались обширные мелководные эпиконтинентальные моря. Постепенно, по мере усиления регрессии, они потеряли связи с океаном и опреснились за счет впадающих в них рек. Морская мелководная фауна, оказавшись в безвыходном положении, вынуждена была либо приспособиться к новым абиотическим условиям, либо исчезнуть. Конечно, отдельные виды морских животных проникают в пресные воды и через эстуарии, и через лагуны, и через подземные воды, но все это не более, чем тропинки, магистральный же путь становления пресноводной фауны только один — через опреснение остатков эпиконтинентальных морей. Отсюда и название гипотезы, рассматривающей указанный путь, — *рестантная* (от лат. *restans* — остающийся).

Одним из основоположников *рестантной* гипотезы был Л. А. Зенкевич, отмечавший, что внедрение морской фауны в пресные воды связано с образованием больших морских акваторий, находящихся в состоянии распреснения, и что «такое решение вопроса имеет значение и для всей проблемы возникновения пресноводной фауны»¹. Этой же точки зрения придерживался и выдающийся байкаловед Г. Ю. Верещагин, наиболее глубоко проникший в суть проблемы. Он, в частности, писал, что «активный переход организмов из моря в пресные воды, а равно и пассивный их занос в пресные воды имеют место лишь в исключительных случаях»².

Главное в *рестантной* гипотезе то, что становление пресноводной фауны и флоры, т. е. пресноводной биоты в целом, происходило экосистемно. Подчеркнем еще раз, что речь идет не о переходе в новую среду отдельных видов, об историческом процессе становления фауны.

Рассмотрим некоторые существенные моменты, позволяющие лучше понять, как

¹ Зенкевич Л. А. // Зоол. журн. 1933. Т. 12. № 4. С. 23.

² Верещагин Г. Ю. // Тр. Байкальской лимнологической станции. 1940. Т. 10. С. 36.

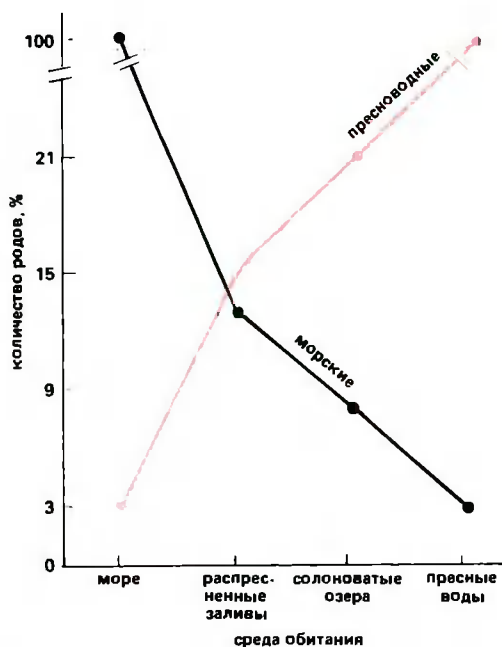
формируется комплекс потенциальной пресноводной фауны — та, сначала морская, а затем солоноватоводная экосистема, которая в конце концов становится пресноводной. Для этого в первую очередь обратимся к двум положениям А. Буко³, основанным на обширном палеонтологическом материале.

1. Большинство современных континентальных шельфов узки и сильно наклонены в сторону моря. Уклон же древних платформ не превышал нескольких сотен метров на несколько тысяч километров. В связи с этим на древних шельфах популяции мелководных организмов достигали огромных размеров, приспосабливались к нестабильным условиям и приобретали большую историческую долговечность, нежели таксоны с небольшим ареалом, т. е. становились космополитами как во времени, так и в пространстве.

2. В условиях колебания физических факторов, таких как соленость, температура, содержание кислорода, наблюдается уменьшение таксономического разнообразия.

Объединение суши к концу девона в два гигантских материка — южный (Гондвану) и северный (Лавразию), — а затем, в карбоне, в единый суперматерик — Пангею — позволило немногочисленным (в соответствии с положениями Буко) космополитным таксонам заселить большую часть шельфа Пангеи и после мощной карбонской регрессии постепенно перейти к пресноводному образу жизни. Основной этап становления пресноводной фауны связан именно с этим геологическим периодом, тем более что и пресные озера начали образовываться только в девоне — карбоне.

Несомненно, пресные воды никогда не были стерильны, но многообразие многоклеточных в них следует отсчитывать от конца палеозоя. Но есть ли основания считать все разнообразие пресноводных организмов результатом палеозойского феномена? Допустим, что ни геология, ни палеонтология не располагают данными о трансгрессиях Мирового океана и исследователь истории пресноводной фауны должен опираться только на современные данные. В этом случае следует обратить внимание на правило Бирштейна, которое, в частности, гласит: «Наиболее богаты видами те пресноводные группы (семейства, роды), которые в наибольшей степени оторваны от морской фауны, что в большинстве случаев приходится



Зависимость относительного числа родов нематод от среды обитания.

относить за счет происходящего в пресной воде видообразования»⁴.

И еще одно важное обобщение, позволяющее ответить на поставленный вопрос, — концепция Г. Г. Мартинсона о палео-, мезо- и неолимнических пресноводной фауны⁵. Суть этой концепции в известной мере вытекает из правила Бирштейна и заключается в том, что часть пресноводных таксонов надвидового ранга не имеет прямых предшественников в море (палеолимнический комплекс), у другой части такие предки выявляются, хотя не всегда с достаточной очевидностью (мезолимнический комплекс), и третья часть представляет собой, в основном, амфибионтные таксоны (неолимнический комплекс). В свою очередь, степень родства между пресноводными и морскими таксонами обусловлена временем пребывания таксона в пресных водах, или, иначе, временем его перехода к пресноводному

⁴ Бирштейн Я. А. // Успехи соврем. биологии. 1949. Т. 27. Вып. 1. С. 122.

⁵ Мартинсон Г. Г. // Докл. АН СССР. 1958. Т. 120. Вып. 5. С. 1155—1158; Он же // Зоол. журн. 1967. Т. 46. № 10. С. 1594—1597.

³ Буко А. Эволюция и темпы вымирания. М., 1979.

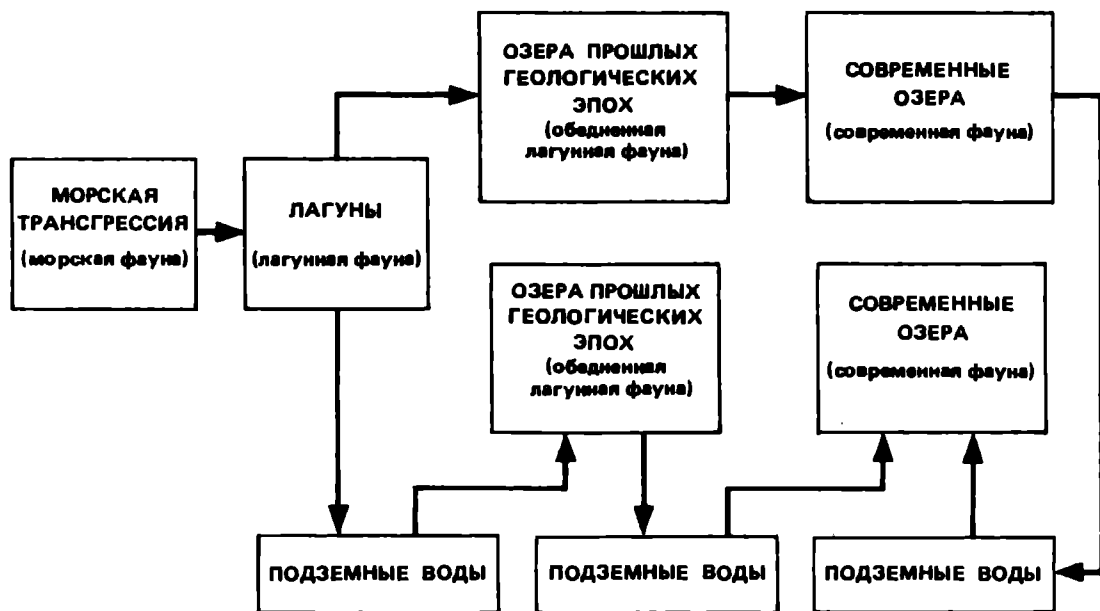


Схема происхождения и развития солоноватоводной фауны внутриконтинентальных водоемов.

образу жизни. Разработанная на моллюсках, концепция Мартинсона подтверждена на других группах пресноводных животных. Это означает, что переход в пресные воды осуществлялся неоднократно и при этом комплексно, экосистемно.

Теперь обратимся к данным исторической геологии, говорящим о периодической смене геократических и талассократических эпох в истории Земли. На фоне колебаний Мирового океана особенно сильно выделяются регрессии, которые приходятся на середину кембрия, середину силура, конец карбона, середину триаса, начало мела и на середину неогена. Палеоолимиический комплекс может быть связан с силурийской и карбонской экспансиями морской фауны, мезоолимиический — с триасовой и меловой, неоолимиический — с неогеновой. При этом не следует забывать и о более мелких, промежуточных регрессиях, вносящих коррективы в общую фаунистическую картину.

Что касается колебаний уровня океана в раннем палеозое, то кембрийская регрессия не оставила явных следов в современной фауне пресных вод. Неизвестны никакие пресноводные трилобитообразные, хотя трилобиты составляли 60 % всей кембрийской фауны, неизвестны также пресноводные архео-

цеаты (30 % фауны кембрия), и очень трудно связать кембрийских моллюсков и ракообразных с современными представителями этих групп в пресных водах. Зато с силуром и карбоном такие связи прослеживаются.

В СОЛОНОВАТЫЕ БАССЕЙНЫ ЧЕРЕЗ АРТЕЗИАНСКИЕ ВОДЫ

Особый интерес представляют солоноватые воды. С одной стороны, это опресненные реками воды заливов, с другой — осолоненные воды бессточных озер. Одинакова ли фауна в таких водах? Обратимся к нематодам — группе многочисленной, широко распространенной в разных средах обитания и довольно хорошо изученной. Сравнивая родовой состав нематод в морях, распресненных заливах, солоноватых озерах (с соленостью, как правило, не выше $10^{0/100}$) и пресных водах, обнаружим, что помимо специфических — чисто морских или чисто пресноводных — есть роды, встречающиеся одновременно в разных средах. При попарном сравнении родových списков легко выделить общие для каждой сравниваемой пары водоемов роды. В результате оказывается, что в фауне морей и пресных вод существует только 3 % общих родов (следует обратить внимание на эту величину в связи с показателями, характеризующими всю пресноводную фауну). Зато моря и распресненные заливы имеют уже 13 % таких родов. Что

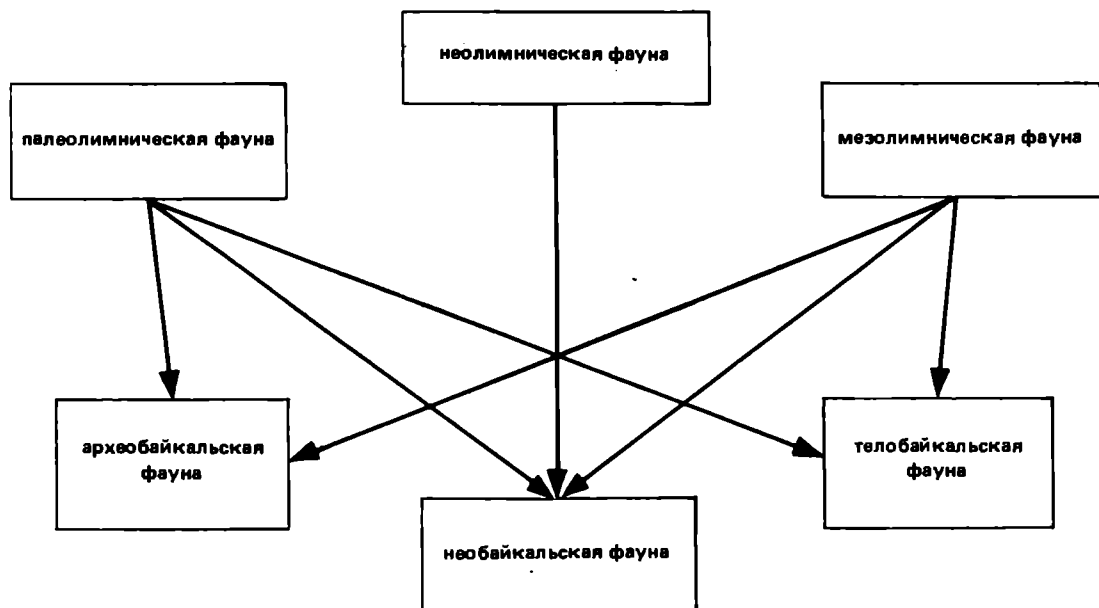
касается фауны распресненных заливов и солоноватых озер, то на первый взгляд разница между ними не велика, но при внимательном рассмотрении становится ясно, что основы этих фаун разные. Так, в солоноватых озерах больше общих с пресными водами родов (21 %), чем в распресненных заливах (16 %), т. е. на экосистемах солоноватых озер сильнее сказалось влияние пресных вод. В свою очередь, между морем и распресненными заливами заметно больше общих родов (13 %), чем между морем и солоноватыми озерами (8 %). Иначе говоря, солоноватоводная фауна неодинакова в разных по генезису солоноватых водах. Совершенно естественно, что на фауну солоноватых озер существенно влияет фауна рек, а то время как в распресненных заливах весьма велико влияние моря. Но откуда в фауне солоноватых озер 8 % общих с морем родов?

Ответить на вопрос помогут нематоды из семейства онхолаймид, обитающие в озерах Центральной Азии. Существование онхолаймид во внутриконтинентальных водоемах представляет значительный общепаразитологический интерес. Более чем из 300 видов семейства, насчитывающихся в современной фауне, только около 20 связано с внутриконтинентальными водоемами. Особенно показателен род *Pseudoncholaimus*, большинство лимнических видов которого обнаружено в глубине Евразийского континента, за тысячи километров от океанов, на территории, развивающейся в континентальном режиме на протяжении 250 млн лет.

Несмотря на отдельные частные противоречия, палеогеографы не сомневаются, что в мезозое и начале кайнозоя существовал единый Палеазиатский континент. Вероятно, в это время и расселялся род *Pseudoncholaimus* по шельфу Палеазии. У некоторых видов нематод, населявших сильно вдающиеся в глубь континента заливы, появились предпосылки проникнуть во внутриконтинентальные водоемы. По-видимому, становление солоноватоводности морских нематод могло осуществляться в течение довольно длительного времени — со второй половины мела до начала палеогена. В верхнем мелу на территории современной пустыни Гоби существовал единый внутриконтинентальный водоем, в который поступали водные массы из морских бассейнов. Вероятно, к этому времени и следует отнести проникновение онхолаймид (предков современных видов) в глубь Азии. Дальнейшая история лимнических онхолаймид и экологически сходных с ними групп связана уже с внутриконтинентальными водоемами.

Однако не ясно, как оказались онхолаймиды в солоноватых озерах, которые совсем недавно, в историческое время, были пресными. Для объяснения этого феномена существует два взгляда. Первый — перенос птицами. Второй — расселение с помощью подземных вод. Теоретически перенос птицами возможен, но если это так, то непонятно, почему многие солоноватые озера не заселены онхолаймидами, тем более что в непосредственной близости от них, в озерах с теми же гидрологическими характеристиками, онхолаймиды обитают. И еще одно. Существование солоноватоводной фауны во внутриконтинентальных водоемах прошлых геологических эпох — факт, подтвержденный палеонтологией (конечно, на материале, который сохраняется в ископаемом состоянии). Но такие данные относятся ко времени, когда птиц еще не существовало. Кто тогда переносил мелких беспозвоночных из водоема в водоем? Переход через пресные воды — реки, ручьи — также невероятен, поскольку онхолаймиды не выносят длительного опреснения. Остаются солоноватые подземные воды.

Гипотеза использования солоноватых подземных вод для расселения интересной фауны (обитателей пространства между песчинками) принципиально непротиворечива вообще и в частности (и в особенности!) для Центральной Азии, ибо здесь подземные гидрографические элементы связаны теснее, чем поверхностные. Для нас наибольший интерес представляют артезианские воды, залегающие, в отличие от грунтовых, на значительной глубине и изолированные от поверхности водоупорными слоями, что делает их менее подверженными влиянию наземных условий. Эти воды, характеризующиеся длительностью существования и стабильностью химического состава, могут играть роль фактора, формирующего фауны наземных озер. Это утверждение, разумеется, справедливо только для определенных гидрогеологических обстоятельств: условий формирования, залегания и разгрузки подземных вод. Все эти условия соблюдаются в Центральной Азии. Так, формирование солоноватых подземных вод может быть связано с солоноватыми озерными бассейнами, существовавшими здесь в мелу. Залегают артезианские воды мезокайнозойских отложений, как правило, на глубине 15—20 м и хорошо связаны с грунтовыми и поверхностными водами. Подземные воды — не только магистраль, но и как бы резервуар фауны наземных водоемов. Естественно, что подземные воды лишь изредка являются собой подобия гигантских аквариумов.



Происхождение фауны Байкала.

ИСТОКИ БАЙКАЛЬСКОЙ ФАУНЫ

мов, обычно они находятся в капельно-жидком состоянии и заполняют поры и пустоты горных пород и перемещаются в них.

Перераспределение интерстициальной фауны между наземными и подземными водами на протяжении сотен тысяч и миллионов лет можно представить следующим образом. Из древних солоноватых бассейнов животные попадают в подземные воды, распространяются на значительное пространство и при соответствующих условиях заселяют новый водоем, в котором пребывают до тех пор, пока он существует. Затем вновь через подземные воды проникают в пригодный для существования, недавно осолонившийся водоем. И так до нашего времени. Конечно, описанный процесс не всегда приводит к положительным результатам. Возможны случаи, когда теряется связь озера с подземными водами или солоноватый источник выклинивается в пресное озеро, где солоноватоводная фауна существовать не может, и т. д. Но многочисленные данные о беспозвоночных, обитающих в подземных водах, в том числе и артезианских, позволяют утверждать, что расселение через подземные воды не только возможно, но и реально. Конечно, этот путь используется и пресноводной фауной.

Теперь обратимся к конкретному пресноводному водоему — Байкалу. Его фауна неоднородна по происхождению. В свое время это вызвало дискуссию между Л. С. Бергом и Г. Ю. Верещагиным. Доведенная до абсурда трактовка этой дискуссии свелась к вопросу — морские или пресноводные «корни» у фауны Байкала. Некорректность такой постановки вопроса в настоящее время очевидна по той простой причине, что вся пресноводная фауна вторична по отношению к морской, т. е. по своему происхождению морская. И в этом суть одной из точек зрения дискуссии.

Что же касается непосредственных предков байкальской фауны, то здесь следует вспомнить о палео-, мезо- и неолиминическом комплексах. Дело в том, что в формировании фауны Байкала участвовали представители всех этих комплексов. При этом важно учитывать, что палео- и мезолиминические комплексы, а в известной мере и неолиминический, существовали до возникновения Байкала и их представители проникали в озеро на разных этапах его существования, создавая сложную, запутанную фаунистическую картину.

Те виды, которые оказались в Байкале на самых ранних этапах его существования, дали основной набор байкальских эндемиков достаточно высокого таксономического ранга. Следующий эшелон вселенцев стал ос-

новой эндемизма более низкого ранга. В последнее время такой эндемизм часто оказывается псевдоэндемизмом, так как «эндемики» обнаруживаются и в других водоемах Сибири, а также Внутренней Азии.

Таким образом, учитывая разновременность вселения в Байкал предков современной фауны, можно выделить археобайкальскую, телобайкальскую и необайкальскую фауны, которые независимо формировались на основе палео-, мезо- и неогимнатического комплексов пресноводной фауны, населявшей окружающие Байкал водоемы.

ФЕНОМЕНАЛЬНОСТЬ ПРЕСНОВОДНОЙ ФАУНЫ

Вернемся к «феномену точки», о котором шла речь вначале, и еще раз зададим вопрос: почему линии на графике пересекаются в точке, соответствующей таксону в ранге подотряда? На первый взгляд, это может означать только одно: времени пребывания в пресных водах хватило не более чем для образования подотрядов (с разбросом в ту или иную сторону), т. е. те палеозойские виды, которые первыми освоили пресные воды, за все протекшее с тех пор время сформировали такую структуру популяций, которую мы в рамках существующей иерархической системы воспринимаем как достигшую уровня отряда или семейства (в «среднем» подотряда). Но если отсчитывать этот срок от верхней границы палеозоя, он будет достаточно внушительным — 230 млн. лет. Казалось бы, этого времени достаточно для больших таксономических достижений, ведь в море и на суше за меньший промежуток времени успели сформироваться не только отряды, но и классы.

Можно предположить, что для мегатаксогенеза кроме достаточно длительного времени (в совокупности с другими эволюционными факторами) необходимо еще и наличие пространственного континуума. А такое сочетание факторов, как длительное время и непрерывное пространство, т. е. пространственно-временной континуум, как раз и не достигается в пресных водах, ведь характеризуются они противоположным свойством — пространственно-временной дискретностью. Дело в том, что продолжительность существования любого пресного водоема меньше того времени, которое необходимо для завершения мегатаксогенеза. (В соответствии с релактантной гипотезой фауна рек вторична по отношению к фауне озер, если речь идет о типично пресноводных организмах).

Современные пресноводные отряды и частично семейства сформировались в период существования Пангеи, о чем говорит их распространение в водах земного шара. В первую очередь это касается организмов мейобентоса. Где бы они ни обитали, они сталкиваются с очень малым разнообразием абиотических и биотических факторов, в отличие от представителей макробентоса. Таким образом, сформировавшись во времена Пангеи, пресноводный мейобентос продолжает сохранять свой отрядно-семейственный, а то и родовой состав.

И последнее. Если на чисто морскую фауну приходится 80 % таксонов, то 20 % — на пресноводные и амфибионтные, в чем легко убедиться, сложив показатели «амфибионтной» кривой и «пресноводной» прямой. Этим и объясняется положение точки пересечения линий на графике, связанное, в свою очередь, с историей формирования водной фауны, о чем и шла речь.

Уникальная изоляция

В. Н. Иванков,

доктор биологических наук

Дальневосточный государственный университет
Владивосток

ИЗВЕСТНО, что изоляция — главный из факторов эволюции видов. В настоящее время изучены несколько форм изоляции: географическая, экологическая (биотопическая), временная (темпоральная), механическая, собственно репродуктивная (стерильность), этологическая. Мы рассмотрим здесь темпоральную изоляцию, которую обычно подразделяют на сезонную и суточную, так как некоторые виды животных и растений образуют расы, размножающиеся или в различные сезоны года, или в разное время суток. У рыб существует еще одна форма темпоральной изоляции — изоляция между поколениями¹.

Среди тихоокеанских лососей, характеризующихся со-

ноциклической, т. е. размножающихся всего раз в жизни, один вид — горбуша — отличается от других существованием двух репродуктивно разобщенных смежных поколений. У этого вида все особи созревают в двухлетнем возрасте, и потомство рыб, нерестящихся в четные годы, приходит на нерест также в четные годы. Соответственно существует и линия нечетных лет. В силу того, что рыбы каждой линии созревают и дают потомство единственный раз в репродуктивный период, они никогда не смешиваются. Налицо, таким образом, полная темпоральная изоляция, которая, чтобы отличить ее от других форм изоляции, может быть названа интергенерационной (от латинского *inter* — между, *generatio* — поколение, генерация). Следовательно, две линии горбуши — это как бы два вида-двойника внутри одного вида (известно, что морфологически они одинаковы, найдены лишь некоторые морфометрические отличия, аналогичные различиям

между рыбами разных рек). Некоторые исследователи считают, что это, по существу, изолированные расы или подвиды².

В 1974 г. американский исследователь Н. Эспинавал, занимающийся популяционной генетикой лососей, обнаружил существенные генетические различия между смежными поколениями горбуши в частотах встречаемости форм фермента малатдегидрогеназы и генов α -глицерофосфатдегидрогеназы³. Вскоре генотипические различия на более полном материале выявили отечественные исследователи (Е. А. Салменкова, Ю. П. Алтухов с соавторами и другие) и между смежными поколениями азиатских популяций горбуши, поколения четных и нечетных лет которой различаются по всем изученным генам и во всех исследованных популяциях.

Чрезвычайно интересны и также неожиданны оказались хромосомные различия горбуши этих двух параллельных линий: в линии нечетных лет преобладают рыбы, в диплоидном наборе которых имеются 53 и 54 хромосомы, а в линии четных лет — рыбы с 52 хромосомами⁴. Причем если у первых присутствуют две — четыре акроцентрические хромосомы, то у вторых их нет. Таким образом, репродуктивно изолированные поколения горбуши четных и нечетных лет генотипически неодинаковы.

Какие же механизмы могли привести к столь необычной, феноменальной дифференциации? Надо отметить, что в некоторые периоды жизни горбуши различия в условиях обитания в четные и нечетные годы выявляются, но в среднем (за много лет) вряд ли они велики, а скорее, отсутствуют вовсе. Следовательно, давление

Горбуша на мелководье во время нерестового хода.

Фото автора



² Кирпичников В. С. Генетические исследования лососевых рыб // Тез. III Всесоюз. совещ. по лососевидным рыбам. Тольятти, 1988. С. 153—154.

³ Aspinwall N. // Evolution. 1974. V. 28. P. 295—305.

⁴ Горшкова Г. В. Хромосомный полиморфизм тихоокеанских лососей // Морфология, структура популяций и проблема рационального использования лососевидных рыб. Л., 1983. С. 43—44.

¹ Иванков В. Н. // Биология моря. 1986. № 2. С. 44—51.

отбора в двух линиях поколений не может быть разнонаправленным и поэтому не может привести к их дивергенции. Скорее всего, здесь сказывается такой механизм эволюции, как дрейф генов (изменение частоты генов в ряду поколений популяции под действием случайных факторов). Если первые (исходные) популяции горбуши были малочисленными и в них проявлялся эффект основателя (утрата многих генов материнской популяции), то за счет полнейшей изоляции генераций (поколений) четных и нечетных лет дрейф мог сыграть дифференцирующую роль. В дальнейшем благодаря отсутствию связи между поколениями дифференциация сохранялась. Уже

существующие различия со временем могли и усилиться, ибо действовал так называемый эффект «бутылочного горлышка» — дрейф генов при резком снижении численности поколений. Известно, что численность популяций горбуши может меняться чрезвычайно сильно — в несколько сот раз. Не исключено, конечно, и влияние на дифференциацию и эволюцию поколений мутационного процесса, (видимо, именно он привел к различиям в карбиологической характеристике смежных поколений горбуши).

Таким образом, интергенерационная изоляция — мощный фактор эволюции видов. Ее влияние на эволюционные процессы более значительно в срав-

нении с другими формами изоляции, такими, например, как сезонная и географическая. Лососи различных сезонных рас и локальных популяций генетически различаются между собой меньше, чем лососи двух линий смежных поколений.

Следует добавить, что интергенерационная изоляция может быть как полной, так и неполной, существующей, например, у некоторых популяций снетка (пресноводной формы корюшки), проходной малоротой корюшки и бычка, созревающих, как правило, в одном возрасте. Что касается полной интергенерационной изоляции, то она пока обнаружена только у одного вида — горбуши.

РЕКЛАМА, ОБЪЯВЛЕНИЯ



"МИНЕРАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ РОССИИ."

Экономика и управление"

учрежден Государственным комитетом РСФСР по геологии и использованию топливно-энергетических и минеральных ресурсов и Всесоюзным научно-исследовательским институтом экономики минерального сырья и геологоразведочных работ (ВИЭМС).

В журнале будут освещаться современное состояние и развитие базы топливно-энергетического и минерального сырья России, экономические аспекты геологоразведки, добычи и переработки полезных ископаемых, эффективность использования ресурсосберегающей техники и технологии, вопросы правового обеспечения недропользования, внешнеэкономической деятельности, коммерческая и рекламная информация.

Функции редакции журнала возложены на Малое государственное научно-производственное предприятие (МГП) "Геоинформмарк".

По вопросам подписки на журнал и публикации материалов на его страницах просим обращаться:

109172, Москва, ул. Володарского, 38.
МГП "Геоинформмарк".

Тел. 272 41 85

272 64 23

Новый научно-технический журнал

"MINERAL RESOURCES OF RUSSIA."

Economics and Management"

- new scientific and technical magazine founded by State Committee of the RSFSR for Geology and Use of Fuel, Energy and Mineral Resources and All-Union Scientific Research Institute of Economics of Mineral Resources and Geological Prospecting (VIEMS).

The magazine will deal with problems of present state and development of fuel, energy and mineral base of Russia, economics of geological exploration, mining and processing of commercial minerals, efficiency of use of resource saving technique and technology, problems of provision for entailed use law, foreign economic relations, commercial and advertising materials.

The editorial functions of the magazine are entrusted to Geoinformmark.

If You would like information about subscription to the magazine and publication in it, please, address:

Geoinformmark, 38, Volodarskaya St., Moscow, USSR, 109172.

Tel. (095) 272 41 85

(095) 272 64 23

Новые наскальные изображения Лапландии

В. Я. Шумкин



Владимир Яковлевич Шумкин, кандидат исторических наук, научный сотрудник Института истории материальной культуры РАН. Занимается изучением каменного века Севера Европы.

НА КАРТЕ северо-западная, материковая часть Европы, иначе Фенноскандия, очертаниями напоминает гигантскую собаку. Продолжая игру, нельзя не заметить, что голова и спина животного приходятся на Норвегию, передние лапы и подбрюшье — на Швецию, задние ноги — на Финляндию. Оставшийся пышный «хвост» полностью совпадает с Мурманской областью России — Кольским п-овом. Заполярный регион Фенноскандии имеет историческое название Лапландия. Сейчас этот топоним редко используется в нашей стране, но не следует забывать, что, единая по своим физико-географическим условиям, эта территория с глубокой древности заселена народами, имевшими общие исторические корни и судьбы, разительно отличные от окружающих народов. Данные обстоятельства давно осознаны историками, этнографами, активно изучающими аборигенов Лапландии — саамов (или лопарей).

Однако повышенный интерес многочисленных специалистов, труды которых уже могут составить обширную библиотеку, находятся в разительном противоречии с перечнем нерешенных проблем по истории самого края и его населения. Причин, и объективных и субъективных, здесь более чем достаточно. Одна из них приходится на долю археологии, довольно поздно активизировавшей свою деятельность в регионе. В последнее десятилетие положение решительно исправляется, но недостаточное число публикаций, вводящих в научный оборот полученные результаты, не позволяет включиться в широкие исследования другим специалистам.

Значительным событием в археологическом изучении Кольского п-ова стало открытие

наскальных изображений. Долгое время эта территория выпадала из ареала памятников данной традиции, и это было довольно странно, ибо обилие скал, близкие природные условия, сходные типы хозяйства и уровень культуры, а кроме того, этническая близость населения давали основание надеяться на открытие здесь подобных памятников. Поиски были, а рисунков не было. Успех пришел в 1973 г. При разведывательных работах в центральной части Кольского п-ова нашей археологической экспедицией в среднем течении р. Поной была открыта первая в этом регионе и самая северная в Европейской России группа петроглифов. Рисунки (около 200) выбиты на 10 отдельных больших плоских камнях на правом берегу реки в пределах разрушенной деревни Ивановки. Саамское название места Чальмн-Варрз. Изображения были настолько четкие, располагались на доступных, открытых глазу поверхностях, что казалось чудом, как до сих пор их не обнаружили. Их не знало и не видел не только местное население, но и сотрудники многих экспедиций, путь которых не мог миновать этого места, поскольку р. Поной — главная водная магистраль края, а Ивановка — одно из немногих обжитых мест вдоль маршрута.

Правда, в отношении местных жителей вскоре кое-что прояснилось. Население Ивановки составляли в основном колонисты-коми, переселенцы из Архангельской области. Но странно было то, что и аборигены-саамы, знающие в тундре каждый камень, не замечали глубоко выбитых на них изображений. Мы провели ряд экспериментов: подвели местного жителя к камню и спрашивали: «Есть ли здесь какой-нибудь рисунок?». И слышали неизменное «нет». Только после



Чальми-Варрз. Остатки разрушенной деревни Ивановки. Здесь, на камнях по правому берегу р. Поной, обнаружена самая северная в Европейской России группа петроглифов.

того, как мы проводили пальцем по абрису изображения, происходил процесс узнавания. Иногда слышались восторженные возгласы: «Действительно олень, а вот еще, еще, вот человек!» — и сразу определяли безошибочно все фигуры не только на этом, но и на других камнях. Обычно высказывалось удивление: столько раз ходить по самим изображениям, которые нельзя (теперь) не заметить и... не замечать. Да что там местные жители! Даже известный исследователь саамов, прекрасный этнограф В. В. Чарнолуцкий, дважды в 30-е годы побывавший в Ивановке и неоднократно проходивший мимо камней с рисунками, не смог их распознать, хотя по его дневникам ясно, что он был хорошо знаком с новейшими скандинавскими и карельскими петроглифами.

Но нет здесь никакой мистики. Просто тренированный, направленный глаз археолога смог заметить то, чего не видели местные жители, зато они, лишь мельком взглянув на камень, безошибочно определяли то, что мы пропускали: например, наклон, чтобы безопасно

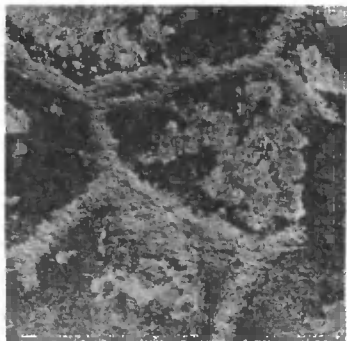
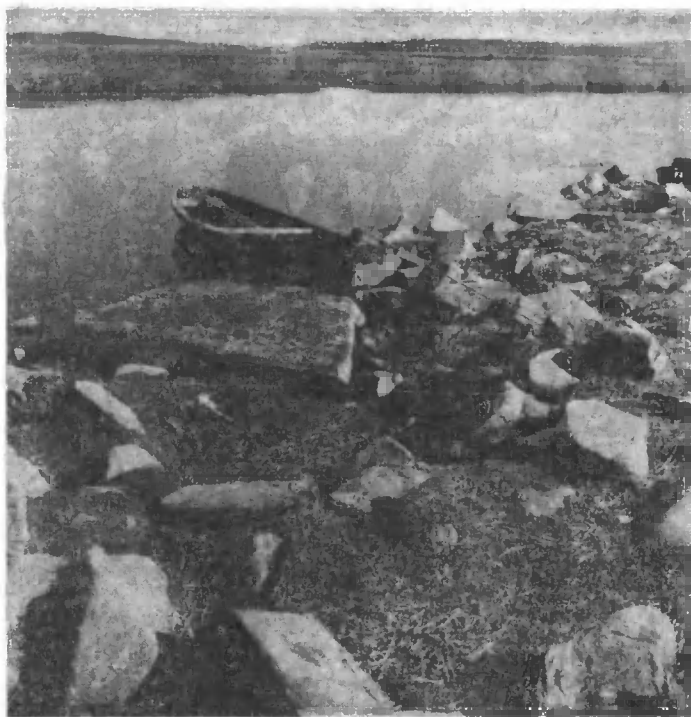
ступить на него, расстояние до следующего камня, с какой стороны он зарос мхом, когда заливается водой и т. д. Очевидно, многообразие нужных данных оттесняло на дальний план малозначущее. Однако эти рассуждения не устранили того факта, что между древним и современным населением прослеживается явный разрыв традиции мировоззренческого порядка.

Вероятно, забвение произошло не так уж давно. На одном из камней в центре деревни были выгравированы каким-то железным орудием небольшие изображения человека, оленя и собаки. С одной стороны, они по стилистике напоминают саамские рисунки, а с другой (позой, изображением зверей в профиль, а человека — в фас) — явно навеяны находящимися в сотне метров образцами древнего наскального творчества. Возраст рисунков вряд ли больше нескольких сот лет. Но важно другое: еще совсем недавно здесь появлялись люди, для которых мир понойских петроглифов был понятен, близок по духу и, в конце концов, просто узнаваем. И, по моим представлениям, это могли быть только саамы.

Как показывает археологическая практика, все лапландские петроглифы (выбитые и вырезанные изображения) и писаницы (нанесенные краской)

располагаются не только в необычных, чем-то выделяющихся местах, но и в некотором удалении от поселений их творцов. Здесь дело не в расстоянии, оно может быть и не очень значительным. Главное, чтобы между местом, где течет обычная жизнь, и сакральным (священным) центром существовало некое препятствие. Это может быть вода, болото, перевал и т. д. Та же закономерность проявляется и в пещерах: рисунки обычно расположены далеко от входа и часто в самой темной ее части. Не вызывает сомнения: если рядом с изображениями проживали какие-то коллективы, то они не имели отношения к нанесению рисунков и их почитанию. Данная традиция закономерно идет с палеолита и доживает до наших дней — ведь мы тоже не строим свои жилища на священных для нас местах, будь то памятник, мемориал, кладбище или связанное с каким-либо крупным историческим событием дерево, камень и т. д., а огораживаем их, отделяем уважительным пространством. Совершенно иначе ведет себя население, не связанное традицией с местной историей, иногда — преднамеренно, чаще — по неведению. Весьма показательно расположение деревни коми-пришельцев совсем рядом с наскальными изображениями. Несмотря на явное удобство местности Чальми-Варрз для проживания, саамы здесь никогда не жили, а лишь изредка хоронили своих сородичей на этом древнем острове.

Однако вернемся к понойским петроглифам. По техническим и стилистическим особенностям намечаются две разновременные группы изображений. Первая, ранняя, представлена 26 фигурами на трех камнях, расположенных у самого края берега реки и весной долго находящихся под водой. Фигуры зверей в этой группе, выполненные сплошной глубокой выбивкой, наиболее натуралистичны и упрощены. Это олени, показанные в профиль, имеющие лишь по одной передней и задней ноге. Присутствуют также две человеческие фигуры в фас: одна, явно мужская, имеет трехрогий головной убор, по три пальца на



Рисунки ранней группы (расположенные на трех камнях у самого уреза воды) выполнены сплошной глубокой выбивкой. Они характеризуются натуралистическим и упрощенным отражением образов (олень, например, изображен с двумя ногами).

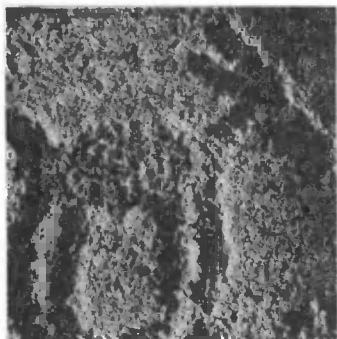
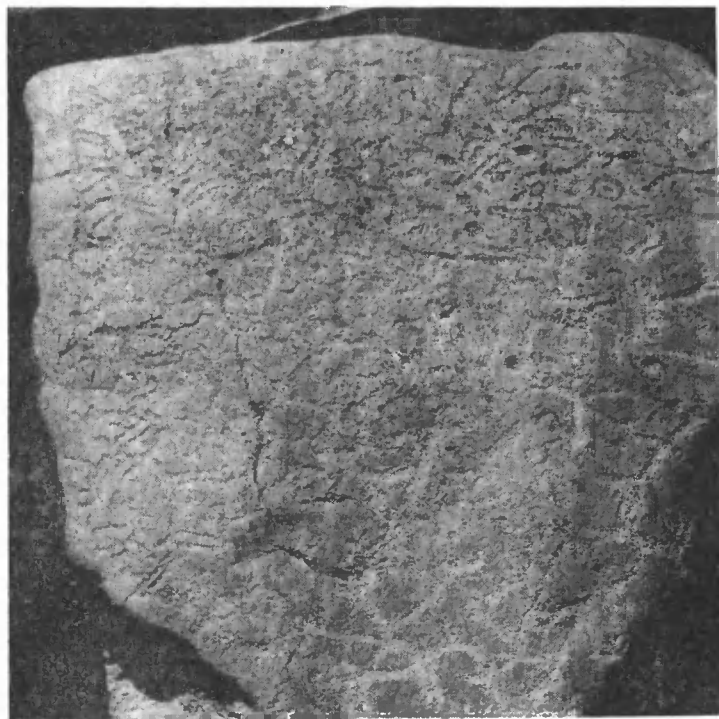
каждой руке; вторая — с подвешенным хвостом. Примитивна композиционная связка отдельных антропоморфных и звериных фигур — посредством соединения их сплошной выбитой линией. Ближайшие аналогии этим рисункам можно найти среди петроглифов Карелии. На основании археологических и геологических данных их можно датировать завершающей стадией неолита — концом III тысячелетия до н. э.

Поздние изображения на других, расположенных несколько выше камнях более сложные и схематизированы. Схематизация сочетается с хорошо выраженной индивидуальностью многих фигур. Приемы изображения людей детально разработаны. У оленей уже две пары ног. Композиционная связь осуществляется посредством тематического расположения образов. В отличие от ранних рисунков, расположенных свободно, без наложения и даже сопри-

косновения фигур, в этой группе перекрывание вполне обычно, и даже неоднократно, хотя рядом находятся камни с прекрасной, пригодной для изобразительной деятельности поверхностью. Видимо, для авторов было важно не просто нанести собственные рисунки, но выбить их именно на тех камнях, где они уже имелись. Изображения раннего периода избежали такой участи, находясь к тому времени уже полностью под водой. Поскольку заметна преемственность в тематике и стилистике изображений двух периодов, а авторы поздних рисунков, нанося их поверх уже существующих, придерживались тех же канонов и образов, можно заключить, что они принадлежат пришлому населению. Некоторые из фигур несут, вероятно, значительную смысловую нагрузку и являются изображениями культурно-мифологических героев первобытного пантеона. В целом поздняя группа отно-

сится к эпохе бронзы — II тысячелетию до н. э., может быть, к самому ее концу. Важно отметить также некоторые параллели с петроглифами Норвегии, Швеции, писаницами Финляндии. Не исключено на этом этапе и определенное влияние традиции земледельческого населения соседних территорий (например, изображения в виде чашечных углублений, кругов).

Совсем недавно на северо-западной окраине Русской Лапландии нами обнаружены новые наскальные изображения. Они располагались в совершенно иных условиях. Так, п-ов Рыбачий — это тундра с небольшими скальными образованиями. На одном из таких скальных выходов на уровне древнего морского берега находятся писаницы и гравировки, объединенные нами под названием «галерея». Здесь можно выделить два этапа нанесения изображений. Первый, ранний, датируется эпохой мезолита — VI тысячелетием до н. э. Рисунки, выпол-



Рисунки поздней группы более усложнены и стематизированы, часто перекрывают друг друга. Олень изображается уже с двумя парами ног.

ненные красной охрой, представляют собой геометрические фигуры и профильные линейные изображения оленей (краска наносилась пальцами руки). Плоскости с писаницами расположены внизу на одном уровне, имеют ровную поверхность и обращены на восток, в сторону моря. Несколько выше зафиксированы следы вытирания пальцев о скальную поверхность после нанесения на нее рисунка охрой.

Гравировки находятся на вышележащих и по-иному ориентированных блоках, а поскольку они исполнены железными орудиями, то датируются не ранее I тысячелетия до н. э. Они имеют геометрические формы и, несомненно, подражают рисованным. Несомненно и то, что их авторы не вполне понимали смысл более ранних изображений и ориентировка поверхности для них не имела значения.

Еще одна писаница («Пещера») была открыта недалеко от «Галереи». Изображения, на-

несенные красной охрой в самом дальнем углу скального углубления, представляют собой композицию из трех фигур: двух антропоморфных и одной звериной с раскрытой пастью. Предварительная датировка на основе стилистики, аналогий и образительного решения может быть определена рубежом II—I тысячелетий до н. э.

Для многих районов Феноскандии прекращение традиции нанесения рисунков на скальную поверхность приходится на рубеж новой эры. Иная картина в Северной Норвегии и Русской Лапландии. Если раньше между наскальными изображениями и рисунками волшебных бубнов лопарей (связь которых довольно очевидна) был временной разрыв около I тыс. лет, то найденные П. Симонсеном в Горной Норвегии саятища средневековых лопарей (где изображены люди, животные) и наши находки на Колском п-ове уже позволяют протянуть пока очень тонкую, ме-

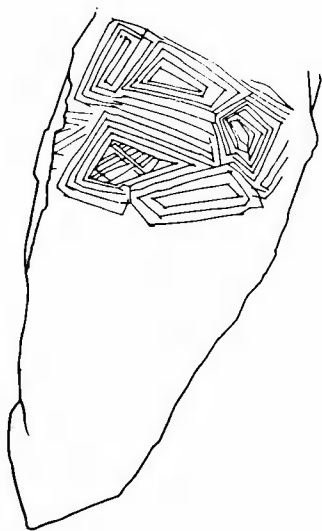
стами прерывающуюся цепочку аналогий между каменным веком и современностью.

И последнее, к чему мне хотелось бы привлечь внимание,— сбережение наскальных полотен. Если задуматься, то окажется, что из всего многообразия художественного творчества прошлых поколений до нас дошли единичные экземпляры. Природные катаклизмы, опустошительные войны, смены населения, нетерпимость и невежество людей сыграли губительную роль. В прошлом наскальные изображения страдали больше от природных явлений. Можно считать чудом, что они уцелели. Особенно подвержены разрушению писаницы. Сохранились они лишь в «благополучных» местах. И вот эти, пощаженные губительным Хроносом осколки творчества наших предков нередко уничтожаются современным человеком. Страдают они от строительных работ, искусственного поднятия уровня воды; на каменных плитах с рисунками разводят костры, выбивают свои инициалы. Акт вандализма можно привести многие десятки. Не помогают ни усиление наказаний, ни принятие новых постановлений. Думаю, эти меры не решат проблему.

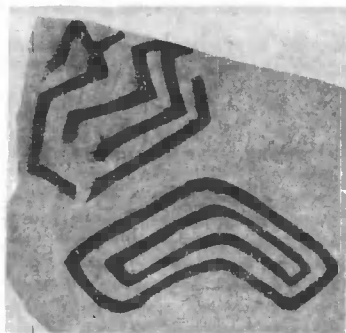
Путь здесь один — повышение культурного уровня населения через просветительство, популяризацию значения памятников, их художественно-культурной ценности, проведение экскурсий, создание музеев. Дело, конечно, трудное, но вполне осуществимое. Примеры такого



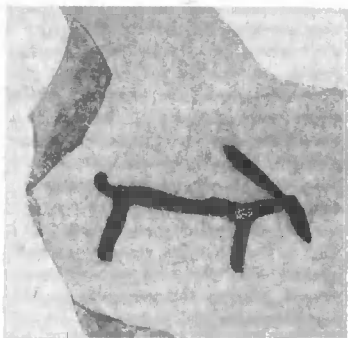
«Галерея» с писанищами и гравировками.



Гравировка геометрической формы, выполненная железным орудием («Галерея»).



«Триптих», представляющий собой нанесенные охрой изображения трех фигур: звериной с раскрытой пастью и двух антропоморфных по бокам («Пещера»).



Профильные линейные изображения оленей («Галерея»).

Геометрические фигуры, нанесенные на скальные поверхности охрой с помощью пальцев («Галерея»).

подхода уже имеются в Скандинавии и Италии. Организация центров с музеями, туристскими комплексами, такими как Алта в Норвегии или Валкамоника в Северной Италии, представляет огромный интерес; они пользуются большой популярностью, снимают многие проблемы, приносят ощутимый доход, позволяющий вкладывать средства в изучение, популяризацию и защиту. У нас все это пока в стадии решений. А делать это нужно как можно скорее. Будущие поколения не простят нам, если мы не сохраним бесценные творения предков, волею судеб пока еще сохранившиеся на нашей земле.

Международный радиоэкологический центр

В последние годы экологическая ситуация в стране резко ухудшилась. Однако количественная оценка состояния природной среды с учетом сравнительного анализа вклада и значимости различных источников антропогенного воздействия и социально-демографического фактора до сих пор отсутствует. Зачастую это приводит к тому, что приоритеты в природоохранной деятельности определяются недостаточно обоснованно, порой субъективно, в угоду политической конъюнктуры и общественным эмоциям. При дефиците объективной информации и, что нередко случается, замалчивании оценок специалистов это ведет к печальным последствиям. Пример тому — сложившееся в последние годы отношение к радиоэкологическим проблемам.

Обостренное внимание населения и общественности к последствиям радиационного загрязнения понятно — оно порождено чернойбыльской трагедией. Однако будем объективны: во многих индустриальных регионах экологическая обстановка значительно хуже и опаснее для здоровья людей, чем в ряде районов, пострадавших от аварии на ЧАЭС (это подтверждается не только заключениями наших ученых, но и оценками независимых экспертов из-за рубежа). Известно, например, что в областном Челябинске и прилегающих промышленных центрах показатели здоровья населения гораздо хуже, чем вблизи крупнейшего ядерного комплекса, где в 1957 г. произошла серьезная радиационная авария.

Выход из тяжелого экологического положения в стране один — объективное обоснование приоритетных задач, сфокусированных прежде всего на здоровье человека, с последующей концентрацией научно-технических и финансовых средств, а также материальных ресурсов на этих приоритетах. Здесь необходим учет всех факторов, формирующих экологическую обстановку региона, социально-демографической ситуации, а также известного эффекта усиления двух главных видов загрязнения — химического и радиационного — при их совместном действии.

У нас в стране и за рубежом накоплен огромный опыт ликвидации последствий антропогенного воздействия на человека и природу. Его использование только повысит эффективность предпринимаемых природоохранных мер. Одним из примеров такого подхода может служить предложение создать Международный радиоэкологический центр на базе первого в нашей стране предприятия атомной промышленности — производственного объединения «Маяк» на Южном Урале. Министерство атомной энергетики и промышленности предоставило нам возможность познакомить широкие круги научной общественности с программой такого международного сотрудничества и ее обоснованием.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ обстановка региона размещения любого промышленного предприятия определяется его безопасностью и надежностью в эксплуатации. Однако технические средства, призванные обеспечить безаварийное производство, предотвращение запроектных аварий, не решают всех проблем, поскольку безотходные технологии, а тем более безотходные производства — дело будущего, причем не ближайшего. В результате к накопленным в природной среде за весь индустриальный период токсинам и ядам ежедневно прибавляются тысячи тонн веществ, делающих биосферу неприемлемой для жизни человека.

Вместе с тем опыт ликвидации последствий воздействия промышленных предприятий на окружающую среду, в том числе печальный опыт радиационных аварий, дает возможность смягчить негативное воздействие выбросов и сбросов, разработать способы безопасного природопользования и тем самым повысить уровень защищенности человека и природы. Конкретным примером может служить экологическая реабилитация территорий, загрязненных в результате производственной деятельности крупного ядерного комплекса на Южном Урале, выбор технологии обработки почв, ведения сельского хозяйства и т. д. Реальная возможность снижения ущерба и оздоровления сре-

ды обитания человека за счет накопленного у нас в стране радиоэкологического опыта позволяет оценить этот опыт как самостоятельную экологическую составляющую безопасности предприятий атомной промышленности и энергетики, а также, что не менее важно, расширить диапазон возможностей управления качеством природной среды в целом.

Концепция использования радиоэкологического потенциала для повышения безопасности предприятий ядерного топливного цикла родилась в Челябинске-65. Здесь расположен радиохимический комбинат «Маяк» оборонного назначения, принимавший весомое участие в создании нашего ядерного оружия. Отсутствие в мире экологически приемлемых технологий и опыта обращения с радиоактивными отходами, вынужденно жесткие сроки исполнения запланированных работ оборачивались порой авариями. 1949—52 гг. — сброс радиоактивных отходов в р. Теча (пострадали люди); 1957 г. — термический взрыв емкости с радиоактивными отходами (образовался так называемый Восточно-Уральский радиоактивный след, «накрывший» Челябинскую, Свердловскую, Курганскую и Тюменскую области¹).

¹ Подробнее см.: Кыштымская авария крупным планом // Природа. 1990. № 5. С. 48—75.

Существующее положение дел в этих пострадавших областях вызывает озабоченность общественности и средств массовой информации, а также российских государственных организаций — Министерства экологии и природных ресурсов России и Государственного Российского комитета по социальной защите граждан и реабилитации территорий, пострадавших от Чернобыльской аварии и других радиационных катастроф — и диктует необходимость консолидации усилий, как и в случае ликвидации последствий на ЧАЭС.

Серьезным шагом в этом направлении стало распоряжение Президента России Б. Н. Ельцина от 19.10.91 «О мерах по ликвидации последствий радиоактивного загрязнения в результате деятельности производственного объединения «Маяк» и Министерства атомной энергетики и промышленности СССР, испытаний на Семипалатинском полигоне и защите населения РСФСР от их воздействия». Документом предусмотрено создание регионального научно-практического центра на базе Опытной научно-исследовательской станции (ОНИС) производственного объединения «Маяк», образованной после радиационной аварии 1957 г. для выработки мероприятий и координации усилий по ликвидации ее последствий.

Несмотря на весь драматизм обстоятельств, огромный радиозоологический опыт, накопленный за время существования предприятия «Маяк», представляет собой национальное достояние и, по признанию зарубежных специалистов, не имеет аналогов. Достаточно беглого перечисления особенностей челябинского опыта, чтобы не осталось сомнений в его уникальности.

1. Долговременность изучения радиозоологических процессов. Более чем 30-летнее наблюдение за процессами миграции радионуклидов и их биологическим действием на живую природу дало возможность определить закономерности действия радиации на разных уровнях: организма, популяции, экосистемы. Фактор долговременности стал определяющим для выявления закономерностей самоочищения, самовосстановления живой природы, степени радиорезистентности видов, экосистемы в целом.

Систематические наблюдения позволили определить биологические, в том числе генетические, последствия радиационного воздействия в одном или последующих поколениях.

Многолетний опыт ликвидации последствий аварии позволил оценить эффективность и оптимизировать способы, средства, технологии и оборудование для дезактива-

ции и реабилитации радиоактивно загрязненных территорий, создать и апробировать методологию безопасного природопользования на территории радиоактивного следа.

2. Крупномасштабность наблюдений и возможность проведения натурных экспериментов позволила выявить закономерности поведения и действия радионуклидов в растительных, наземных и пресноводных геоценозах, в условиях лесных, пастбищных систем при остром и хроническом облучении сельскохозяйственных и диких животных, птиц, рыб и т. д.

3. Специфика радионуклидного состава (^{90}Sr , 134 , ^{137}Cs , Pu , ^{14}C , ^3H и др.) предоставляет возможности для широких радиозоологических исследований и сравнения полученных данных по почвенно-ландшафтно-климатическим характеристикам с результатами в зоне Чернобыльской аварии, где радионуклидный состав имеет другую специфику.

4. Радиозоологическую уникальность территории предприятия «Маяк» обуславливает также каскад промышленных водоем-накопителей радиоактивных отходов, поймы р. Теча, где можно осуществлять комплекс научных и технологических работ по водной радиозоологии.

5. В результате широкомасштабных работ в районе Восточно-Уральского радиоактивного следа и предприятия «Маяк» создана уникальная экспериментальная база, сформировался высокопрофессиональный коллектив исследователей, выработан опыт организации и осуществления широкого спектра научно-исследовательских и практических работ.

6. Последнее, и главное, в челябинском опыте — это эпидемиологические исследования; оценка и прогноз состояния здоровья людей, получивших в 50-е годы повышенную дозовую нагрузку, а также их детей, внуков и правнуков; методология диагностики и профилактических мер.

Все это дает основания полагать, что современная отечественная радиозоология и радиационная медицина способны решить многие задачи по предотвращению или смягчению последствий взаимодействия человека и ядерных технологий. Тем не менее, по нашему убеждению, наиболее эффективное решение этих проблем возможно лишь при широком международном сотрудничестве, которое обеспечило бы привлечение в нашу страну современных зарубежных методологий и оборудования, а также инвестиций на исследовательские цели.

Инициатива организации международного сотрудничества на Южном Урале уже

поддержана Комиссариатом по атомной энергии Франции и Федеральным управлением по радиационной защите ФРГ. На наш взгляд, она найдет одобрение и понимание мировой научной общности.

Приведем основные направления работ в рамках предлагаемого международного сотрудничества.

1. Разработка справочных, руководящих документов и нормативов по управлению качеством природной среды в районах воздействия предприятий атомной промышленности и энергетики. Важнейшей проблемой является планирование защитных мер на случай аварийных ситуаций. При этом должны быть установлены приоритеты принимаемых контрмер, определены уровни вмешательства с учетом социально-экономических, медицинских и экологических последствий.

2. Разработка технологий, средств и оборудования, направленных на снижение радиоактивного загрязнения природных объектов и пищевых цепочек человека. Прежде всего это разработка технологии, методов и оборудования для дезактивации радиоактивно загрязненных территорий, включая водные объекты. Следующий этап — разработка технологии и средств реабилитации с организацией производственной деятельности и жизни людей в послеаварийных условиях, а также при непрерывном поступлении радионуклидов в ходе нормальной работы предприятия. Этот этап включает создание средств обработки почв и агротехники, технологий содержания сельскохозяйственных животных, организацию земле- и водопользования.

В русле этого направления лежит и разработка методологий для оценки доз облучения населения при разовом и продолжительном поступлении радионуклидов в атмосферу и рацион человека, доз облучения природных объектов и их сообществ; для обоснования допустимых выбросов и сбросов, а также радиационного контроля.

3. Передача на коммерческой основе ранее накопленной и совместное получение новой научной информации, включающей: количественные характеристики динамики и механизмов миграции основных дозообразующих нуклидов в природных средах и пищевых цепочках человека;

эффекты биологического, в том числе генетического, действия радиации на природные объекты и сообщества различного уровня биологической организации;

пути и дозы радиоактивного воздействия на население, постоянно проживаю-

щее в условиях повышенного радиационного фона.

Все перечисленные совместные работы могут осуществляться как в натурных исследованиях, так и при физическом моделировании в природных условиях с применением различных радионуклидов и источников излучения.

Очевидно, что на начальном этапе надо дать возможность потенциальным участникам-инвесторам Международного центра непосредственно ознакомиться с опытом наших радиозоологов, оценить целесообразность создания такого центра. Учитывая это, коллектив ОНИС при поддержке Российского комитета по экологии и рациональному использованию природных ресурсов, а также Министерства атомной энергетики и промышленности обратился в Российский комитет по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС с предложением об организации международного проекта, рассчитанного на один год, основной целью которого — объективный, всесторонний, независимый анализ самой идеи создания Международного радиозоологического центра на базе Опытной научно-исследовательской станции производственного объединения «Маяк» (Челябинск-65).

По нашему мнению, секретариат Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) мог бы взять на себя роль координатора деятельности зарубежных специалистов и международных организаций в проведении такой экспертной оценки.

В настоящее время предложение о создании Международного радиозоологического центра в Челябинске-65 рассматривается Верховным Советом России.

Н. С. Бабаев,

доктор физико-математических наук,
главный ученый секретарь Министерства атомной
энергетики и промышленности

Б. В. Никипелов,

доктор технических наук,
первый заместитель министра атомной энергетики и
промышленности

Г. Н. Романов,

кандидат технических наук,
начальник ОНИС

В. И. Фетисов,

директор ПО «Маяк»

Ю. Б. Холина,

кандидат химических наук,
ведущий специалист Министерства атомной энергетики
и промышленности

МАСТЕР



Яков Борисович Зельдович [8.III 1914—2.XII 1987].

Он был уникален в своем творчестве — от физики горения и взрыва, через ядерное оружие до самых глубин астрофизики и космологии. А. Д. Сахаров назвал его человеком универсальных интересов. По мнению Л. Д. Ландау, ни один физик, исключая Ферми, не обладал таким богатством новых идей. Это о нем говорил И. В. Курчатов: «А все-таки Яшка гений!», а Ю. Б. Харитон период совместной работы с ним на «объекте» назвал счастливейшими годами своей жизни. Выдающийся английский физик С. Хокинг долгое время считал его не реальной фигурой в науке, а чем-то вроде Бурбаки, так невероятно много ему удалось сделать за относительно короткий срок в астрофизике и космологии, куда он ворвался, как вихрь. После его смерти стало известно, что Р. Мессбауэр хотел выдвинуть его на Нобелевскую премию и колебался лишь в выборе науки — по химии или по физике. В науке это был Мастер — Яков Борисович Зельдович.

В издательстве «Наука» готовится сборник «Знакомый незнакомый Зельдович: в воспоминаниях друзей, коллег, учеников» [ответственные редакторы С. С. Герштейн, Р. А. Сюняев, составитель Н. Д. Морозова]; с фрагментами из некоторых статей сборника первыми знакомятся читатели «Природы».

Как был «открыт» Зельдович

Л. А. Сена,

доктор физико-математических наук

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе
Санкт-Петербург

МАРТ 1931 года, Ленинград, Институт химической физики, незадолго до того возникший при «распочковании» Физико-технического института. Лаборатория Симона Залмановича Рогинского, где я работаю уже более полугода, закончив физико-механический факультет Политехнического института.

Вначале я работал «на подхвате», а в конце 1930 г. Симон Залманович дает мне самостоятельную, пожалуй, курьезную, тему, лежащую вне круга вопросов, которыми занималась лаборатория. Известно, что многие органические вещества легко переохлаждаются ниже точки плавления. К числу таких веществ относится нитроглицерин. Переохлажденный нитроглицерин превращается в вязкую массу, которую довольно трудно заставить кристаллизироваться. При «насильственной» кристаллизации можно получить две его модификации, отличающиеся точкой плавления, — лабильную и стабильную. При этом было обнаружено интересное явление: предварительно закристаллизованный нитроглицерин после плавления и некоторой последующей выдержки при повторном охлаждении сам легко кристаллизуется, причем в той модификации, в которой он ранее был закристаллизован. Нитроглицерин как бы обладает «памятью». Разгадать загадку «памяти» и предложил мне Симон Залманович.

К марту 1931 г. я уже полностью привык работать с нитроглицерином, научился его кристаллизовать в любой модификации и провел многократные опыты с повторной кристаллизацией, убедившись в наличии «памяти». Наблюдал влияние температуры и длительности перегрева на сохранение «памяти», но к разгадке еще не подошел.

Здесь нужно сделать небольшое отступление. В те годы были очень распространены экскурсии на разные предприятия, в том числе в исследовательские институты. Система пропусков была крайне примитивной, а в институтах практически отсутствовала. Так как в нашей лаборатории редко проходила неделя, чтобы не было одной-двух экскурсий, установили «экскурсоводческую повинность»: по очереди каждый со-

трудник должен был выполнять обязанность экскурсовода, если в этот день приходила экскурсия.

В тот памятный мартовский день наступила моя очередь. Пришла экскурсия из «Механобра» (Института механической обработки полезных ископаемых). Среди экскурсантов был юноша, почти мальчик (как потом выяснилось, ему незадолго до того исполнилось 17 лет). Как каждый экскурсовод, я начал со своей темы. Экскурсанты вежливо слушали, а юноша вдруг стал задавать вопросы, которые показали, что он владеет термодинамикой, молекулярной физикой и химией на уровне не ниже третьего курса университета. Улучив минутку, подхожу к Симону Залмановичу и говорю: «Симон! Мне очень нравится этот мальчишка. Хорошо бы его к нам». Симон Залманович в ответ: «Мне тоже, я краем уха слышал ваш разговор; я дальше поведу экскурсию сам, а ты поговори с ним, не хочет ли он перейти к нам? Тогда сможешь его взять к себе». Я отвел юношу в сторонку и спрашиваю: «Вам у нас нравится?» — «Очень!» — «А Вы хотели бы у нас работать?» — «Отчасти из-за этого я и на экскурсию пошел».

Вскоре Яша Зельдович, как звали юношу, перешел к нам и стал работать со мной, поскольку я его «открыл».

Так до сих пор и не знаю, кто, но подозреваю, что наш лаборант Сена, мастер на всякие выдумки, пустил слух, будто Зельдовича выменяли на форвакуумный насос. Самому Зельдовичу эта легенда очень нравилась. Много лет спустя, вспоминая нашу научную юность, он сказал: «Значит, я даже тогда чего-то стоил».

Итак, Яша начал работать со мной. И хотя, когда мне исполнилось 70 лет, он поздравил меня телеграммой: «Моему первому учителю», надо сказать, что с самого начала мы работали на равных. Несмотря на разницу в возрасте (я был на шесть лет старше) и на то, что я закончил институт, а он только среднюю школу, в работе мы были на одном уровне. Журнальные статьи для просмотра делили пополам. Большинство их было на немецком языке. Если же изредка



После переезда из Казани в Ленинград. 1938 г.

попадалась английская, статью брал Яша (я в то время английский язык знал неважно), свободно владеющий обоими языками. Кажется, он знал также французский.

Наше равноправие было не только научным. Уже через несколько дней между нами возникла дружба, мы перешли на ты; вместе ходили на реферативные собрания и советы в Физико-технический институт, в кино в Яшумовом переулке (ныне улица Курчатова). Были установлены и некоторые рабочие «принципы». Согласно одному из них, разрешалось ошибаться, но запрещалось повторять ошибку. Провинившийся награждался «орденом большого тетерева»: на листе бумаги рисовалась некая птица, долженствующая изображать тетерева, и вешалась на место, которое условно представляло провинившегося.

Начало каждого рабочего дня устанавливалось накануне по соглашению, а окончание ... Окончание зависело от хода работы, самочувствия, настроения, наличия интересной темы, которую следовало прочитать до обсуждения... нового кинофильма и т. п. Длительность рабочего дня колебалась от восьми-десяти часов до четырех, когда в лаборатории, по нашему мнению, «заводился черт». В этом случае мы уходили в библио-

теку Физтеха или в парк Политехнического института, где работа продолжалась.

В то время сами понятия начала и конца рабочего дня, его длительности были весьма расплывчатыми. Можно сказать, что институты (Физико-технический, химической физики и электрофизический) работали 24 часа в сутки. Проходя поздно вечером мимо института, можно было видеть освещенные окна.

Работа шла успешно; довольно скоро мы опровергли предположение о наличии «памяти» в объеме, убедительно доказав, что она «сидит» на стенках. Полученные в ряде опытов результаты регулярно докладывали Симону Залмановичу и детально с ним обсуждали. Когда были неоднократно воспроизведены все опыты, доказывавшие правильность нашей точки зрения, решили писать статью. Вариант для обсуждения «в первом чтении» поручили писать мне. Я уселся и написал целую «диссертацию» (тогда их, впрочем, не было). Симон Залманович и Яша ее редактировали, беспощадно критикуя, а я цеплялся за каждую фразу. Яша, помню, как-то сказал: «Ты бы еще написал, какая погода была во время опытов». После долгих споров «сторговались». Жена Симона Залмановича, — Анна Борисовна Шехтер, перевела статью на немецкий язык, поскольку было решено отправить ее в новый, недавно начавший выходить советский журнал на иностранных языках «Physikalische Zeitschrift der Sowjetunion». И вот, в пятом выпуске первого тома появилась наша статья «Beitrag zum Mechanismus der Erscheinung des Gedächtnisses der wiederholten Kristallisation». Для меня и Яши это была первая научная публикация.

Помню, завершение работы было отмечено уничтожением всего запаса нитроглицерина, накопившегося во время опытов. В котловане за институтом на камнях мы соорудили очаг, на него положили железный лист, а сверху — нитроглицерин. Аутодафе получилось красочным и торжественным.

После завершения работы стало ясно, что Зельдович может работать совершенно самостоятельно, и наши научные пути разошлись. Я, после некоторых перипетий, стал работать у Дмитрия Аполлинарьевича Рожанского, у которого и определился мой дальнейший научный путь.

Яша, ставший вскоре Яковом Борисовичем, начал круто подниматься по научной лестнице. Его дальнейшая биография довольно хорошо известна: для получения права защищать кандидатскую диссертацию он стал экстерном сдавать экзамены в университет, но пришло разрешение защищать диссертацию без диплома о высшем образовании.

Таких «академиков-недоучек» у нас было несколько (например, Б. П. Константинов, впоследствии ставший вице-президентом Академии).

Дружба с Яковом Борисовичем продолжалась и после того, как наши научные пути разошлись, вплоть до войны и его переезда в Москву. Здесь наши встречи стали значительно реже. Яков Борисович очень редко бывал в Ленинграде. И хотя я бывал в Москве гораздо чаще, многие мои командировки бывали «от поезда до поезда», поэтому лишь считанное число раз удавалось забежать к Зельдовичу хоть на несколько минут. Последняя встреча состоялась в конце декабря 1982 г. Мы провели очень теплый и веселый вечер, в котором принял участие А. В. Гапонов-Грехов.

В конце 1987 г., когда мне исполнилось 80 лет, в Горном институте, где я работал,

решили устроить юбилей. Я пытался «отбиться», но пришлось смириться, «сторговавшись», что в основе празднования будет научный семинар. Договорились с докладчиками (Б. М. Смирновым, В. Е. Голантом, Г. Н. Фурсей) и перенесли «торжество» на начало 1988 г. Я позвонил Якову Борисовичу. «На этот раз постараюсь приехать», — сказал он. Но 2 декабря раздался телефонный звонок. Я услышал голос Голанта: «Вчера скорпостижно скончался Яков Борисович».

Мне (учитывая мой возраст) уже неоднократно приходилось прощаться с близкими друзьями; из них некоторые, как и Яков Борисович, были моложе меня. Каждая потеря тяжела. Но, конечно, потеря Яши Зельдовича, с которым нас связывала научная юность и дружба, длившаяся без единого облачка почти 57 лет, была одной из самых тяжелых.

Прирожденный лидер

Член-корреспондент РАН

Л. П. Феоктистов

Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН
Москва

В САМОМ начале 1951 г. после окончания МГУ я был направлен в совершенно секретную «точку». О степени секретности можно судить хотя бы по тому, что при оформлении в Москве (в мрачной комнате-конторе на Цветном бульваре), когда я легкомысленно спросил, как долго лететь до места, тут же получил получасовой разнос — оказывается, я не должен был вслух произносить слово «самолет».

По приезду, после небольшого экзамена, к которому я был блестяще подготовлен, поскольку имел точную информацию от однокашников, приехавших сюда чуть раньше, я оказался в теоретической группе Д. А. Франк-Каменецкого. Она, в свою очередь, входила в состав отдела, руководимого членом-корреспондентом АН СССР Яковом Борисовичем Зельдовичем. Тогда же я познакомился и с другими знаменитыми людьми: И. Е. Таммом, Н. Н. Боголюбовым, А. Д. Сахаровым, которые заведовали другими теоретическими подразделениями.

Уровень секретности на «объекте» был необычайно высок: разные группы, занятые каждой своей проблемой, по идее, не должны были знать, что делают соседи, хотя, конечно же, знали все обо всем. Молодые

люди, вроде меня, оказались в замкнутом пространстве, за проволокой, без права покидать «объект» даже во время отпусков. Такое положение не касалось крупного начальства.

Я начал работать под трогательной опекой Д. А. Франк-Каменецкого, который передавал мне всю мудреную и специальную науку не из книг. Вдруг пронесся слух — «членкор едет». Давид Альбертович (или ДА — там принято было называть начальство по первым буквам имени и отчества — ЯБ, ЮБ, АД и т. д.) повел меня знакомить, при этом, по-моему, нервничал больше меня. Я увидел невысокого подвижного человека с умным и насмешливым взглядом. ЯБ начал непринужденный разговор, который перешел в профессиональный, и как бы мимоходом попросил написать на доске уравнение гидродинамики. «Началось», — пронеслось в голове, а вслух жалкий лепет: «Мы это не проходили». Но все оказалось не так страшно, поскольку одной-двумя подсказками тебе разжевывают, что вся механика построена на законах сохранения массы, импульса и энергии.

Многие теперь любят что-то начинать, и почти никто не умеет или не желает



Группа сотрудников Института химической физики. Слева направо: Н. Н. Семенов, О. И. Лейпуцкий, П. П. Шатер, Н. Н. Симонов, Б. В. Айвазов, Е. Н. Леонтьева, З. И. Когарко, М. А. Ривин и Я. Б. Зельдович. Москва, 1946 г.

завершать. И тянется это дело бесконечно долго, нудно и бесполезно. Совсем не так было в то динамичное время, причем, как всегда, картину определяли лидеры.

Когда я начинал, отдел Зельдовича занимался вопросами термоядерного горения (детонации) дейтерия в трубе. Это была совсем непростая задача, почти неразрешимая. Дело в том, что радиус такой трубы был ограничен и снизу, и сверху. Последнее особенно удивительно, поскольку, как правило, чем больше размер, тем меньше потери и лучше горение. В данной ситуации, однако, развивается явление, которое получило название комптонизация: мягкие тормозные кванты света, рассеиваясь на горячих электронах плазмы, не теряют энергию, как при известном комптон-эффекте, а наращивают ее, стремясь к планковскому (виновскому) равновесию. Возникает дополнительный «сток» энергии от вещества в излучение. Чтобы его уменьшить, надо сделать среду по возможности более прозрачной, с тем чтобы кванты, не набрав энергии, вылетали за ее пределы.

Мы потратили четыре года на работы в

этом направлении, очень тонкие и увлекательные с физической точки зрения; но вдруг в какой-то момент решив, что они неконкурентоспособны, руководство отдела буквально за несколько дней переориентировало весь наш коллектив. Подобная решительность привела к тому, что через год возникли устройства, не устаревшие до нашего времени. (Считаю, что многие работы по термоядерной детонации, проводившиеся под руководством Зельдовича и сохранившие большой теоретический и приоритетный интерес, должны быть рассекречены и опубликованы.)

Как оказалось, в отличие от чисто дейтериевой среды смесь трития с дейтерием горит настолько быстро, что излучение не успевает прийти в равновесие со средой, резко поднимается температура вещества — факт, о котором я слышал от Зельдовича и который сильнейшим образом повлиял на мое образование. Позднее по доплеровскому уширению энергии 14 МэВ-нейтронов была зафиксирована температура, превышающая миллиард градусов, достойная, как рукописная, быть отмеченной в книге рекордов Гиннеса.

Простое замечание Зельдовича о том, что в спектре нейтронов ДТ-реакции могут наблюдаться изредка нейтроны с энергией до 28 МэВ (от столкновений нейтронов друг с другом), положило начало большой группе

взрывных экспериментов по получению далеких трансуранов.

При всей своей занятости ЯБ много времени отдавал нашей учебе. Как всякий крупный начальник, по утрам он приходил попозже, с толстой тетрадкой, и начинал рассказывать. Оказывалось, он уже успел написать статью или что-то посчитать. Тогда же, например, я научился элементам квантовой электродинамики. Помню, мы вместе увлеченно вычисляли формулы комптон-эффекта по диаграммам Фейнмана. И что удивительно, ответ иногда получался правильным.

Когда бы ни приезжал ЯБ из столицы, он сразу собирал всех и выкладывал научные новости. В один из таких приездов, вечером он что-то рассказывал, как обычно, но мы то ли устали, то ли было слишком сложно. Видимо, он почувствовал это, потому что на следующее утро начал допытываться, кто что понял. Более или менее членораздельно отвечал я и даже удостоился похвалы. Только много лет спустя в случайном разговоре с ЯБ я признался, что схитрил: утром прочитал нужное место в учебнике Ландау, предчувствуя разнос.

Шеф был прирожденным лидером, он это знал, но никогда не подчеркивал, да в том и не было необходимости, все было очевидно. И все же ... Яков Борисович очень любовно и с большим уважением относился к Давиду Альбертовичу Франк-Каменецкому (Додику). Но однажды я присутствовал при их споре: ДА заявил, что за два часа прочитает книгу в 300 страниц. ЯБ не поверил, стало ясно, что он сам это не в состоянии сделать, авторитет «пошатнулся». ЯБ начал горячиться, наконец, они поспорили. ДА заперся в комнате, а через два часа началась проверка. ЯБ открывал книгу в произвольном месте, читал строчку, ДА продолжал почти дословно. Память у добрейшего ДА была необыкновенная!

Врезался в память и другой эпизод, наверное, потому, что это был единственный случай, когда я поправил выдающегося ученого. Он недовольно буркнул: «Один: ноль в вашу пользу» — и продолжал беседу ровно до тех пор, пока не ошибся я, что было, как вы понимаете, совсем не трудно сделать. «Один: один», — сказал удовлетворенный учитель.

Наверное, каждый переживал эйфорию, ощущение того, что достиг вершин, все знает. Обычно это происходит после удачно сданного экзамена, окончания школы, вуза. Правда, вскоре наступает грустное отрезвление. В то далекое время мы изредка выезжали на Семипалатинский полигон. ЯБ и там



В год избрания членом-корреспондентом АН СССР. Москва, 1947 г.

умудрялся писать «формулы». Мы же, полагая, что наша работа начинается после «явления» (мы никогда не употребляли слов «взрыв», «бомба», «плутоний», «третий», а говорили «явление», «изделие» и т. д.), откровенно бездельничали. Как-то шеф не выдержал и завел разговор: «При взрыве возникает мощный электромагнитный сигнал», после чего поручил Г. М. Гандельману и мне разобраться в его природе. Задача оказалась на редкость увлекательной. Через несколько дней мы не сомневались, что нащупали правильный подход. Дело в том, что мгновенные γ -кванты деления, вылетающие из точки взрыва, смещают электроны в направлении своего полета и поляризуют воздух. Мы быстро составили «отчет» (расчет и описание) и, довольные, пришли к ЯБ. По глазам было видно, что он доволен, тем более странным прозвучало заключение: «В вашей постановке задачи амплитуда радиосигналов строго равна нулю». «Почему?» — хором спросили мы. «Потому что электрический вектор направлен по радиусу, а вот куда направлен магнитный — направо, налево, в чем предпочтение? Сферически симметричная система не излучает». Поправить результат с учетом асимметрии было не сложно, но горький

осадов от собственной безграмотности остался надолго.

В нашей насыщенной и тревожной (под прессом секретности) жизни обычными были подначки, розыгрыши. Однажды еду на велосипеде, сбоку куда-то спешит ЯБ. Увидел меня, остановился, заговорил. Далее все, как в басне. «Как вы хорошо катаетесь на велосипеде! Знаете, у меня было бедное детство, никогда не имел велосипеда ...» «Как, вы не умеете кататься? Но это так просто», — у меня появилась реальная возможность хоть в чем-то продемонстрировать свое превосходство. ЯБ неуклюже забрался на седло, попискивая: «Ох, держите!». А еще через несколько секунд я с изумлением наблюдал быстро удаляющуюся фигуру, которая решила свои транспортные проблемы за мой счет.

На нашем «объекте» в то бериевское время была одна загадочная военная личность — представитель Совнаркома. Что он делал, никто толком не знал. Сталкивались мы с ним раз в году, когда стремились оформить отпуск за пределы зоны. Тут уж каждый полагался на себя; так, мой приятель по запросу сельсовета каждый год выезжал продавать козу, я — жениться. У нас работало несколько человек, окончивших военные академии. Мы воспользовались военной формой одного из них, одели в нее нашего

товарища (того самого, с «козой»), замаскировав под «представителя», после чего по одному стали запускать к нему наших сотрудников на «допрос». Боже, сколько нового — хорошего и плохого — мы узнали про начальство и советскую систему.

«Экзекуция» подходила к концу, когда в коридоре я столкнулся с ЯБ. «Что за шум?» — спросил он (это «потерпевшие» обменивались впечатлениями). Я с воодушевлением объяснил. ЯБ сначала рассмеялся, потом помрачнел и сказал: «За подобные шутки некоторые органы отрежут вам некоторые органы, и я ничем не смогу помочь».

Незадолго до его смерти я случайно повстречал Якова Борисовича на прогулке на Ленинских горах. Разговорились. Он был полон впечатлений от поездки в Грецию, с воодушевлением рассказывал о своих астрофизических успехах. Тем неожиданной были слова, сказанные им на прощание: «Вы не догадаетесь, какое время было для меня самым ярким. Да, да, то самое... У меня осталась мечта: написать еще одну книгу про детонацию».

Я отсчитываю годы назад и тоже благоговяю то время. Не только потому, что с ним связана лучшая пора молодости, но и потому, что судьба свела с очень умными и талантливыми ПЕРВЫМИ УЧИТЕЛЯМИ.

Рыцарь науки

Ю. Н. Смирнов,

кандидат физико-математических наук
Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН
Москва

ТАК СЛОЖИЛОСЬ, что через год после широко отмеченного 70-летия Андрея Дмитриевича Сахарова, вслед за воспоминаниями о нем мне выпало писать о Якове Борисовиче Зельдовиче. В очнувшемся от оцепенения или неведения обществе, может быть, переживающем и очистительное покаяние, везде и всюду произносится одно имя и как бы невольно пребывает в тени другое.

Величие Андрея Дмитриевича не страдает, если я осмелюсь утверждать, что ему как физику неизменно соответствовал равновеликий талант другого соотечественника — Якова Борисовича Зельдовича. И дело не в одинаковых официальных отличиях, хотя и тот и другой удостоились отнюдь не к юбилейным датам и задолго до «звездопадной эпохи застоя» званий трижды Героя

Социалистического Труда и лауреата Ленинской премии. Суть гораздо глубже.

Благодатная тема равновеликости дарований двух корифеев физической науки — Сахарова и Зельдовича — увлечет еще не одного исследователя. Но мне представляется уместным обратить внимание на два-три примечательных обстоятельства. Действительно, если А. Д. Сахарову вместе с И. Е. Таммом принадлежит кардинальная идея термоядерной реакции, то Я. Б. Зельдовичу вместе с Ю. Б. Харитоном выпала честь заложить фундамент современной физики атомных реакторов и ядерной энергетики, выполнить в этой области основополагающие работы, имеющие огромное принципиальное значе-

ние. Если Сахарову принадлежит оригинальная идея создания взрывоманитных (магнитокумулятивных) генераторов, обеспечивших получение рекордных сверхсильных импульсных магнитных полей, то Зельдович, к примеру, предложил способ удержания очень медленных нейтронов в полости («ядерная бутылка Зельдовича»), положивший начало новой области нейтронной физики. Якову Борисовичу принадлежит и идея использования встречных пучков, реализованная в ускорительной технике. Андрей Дмитриевич и Яков Борисович независимо друг от друга высказали пионерские идеи о возможности мюонного катализа ядерных реакций в дейтерии, а затем совместно развили их.

Вклад Андрея Дмитриевича в разработку советской термоядерной бомбы был решающим. Но уместно обратиться к авторитетному мнению Харитона: «...здесь достаточно велика также роль многих других. В общем-то, это была коллективная работа. В одном из отчетов самого начального периода Андрей Дмитриевич оговаривается, что развивает некоторые идеи, высказанные Зельдовичем. Так что трудно сказать, пришли бы ему в голову решающие мысли, если бы не было ранних работ Якова Борисовича»¹.

Эту же мысль о тесном творческом содружестве Якова Борисовича и Андрея Дмитриевича подчеркивают и другие их коллеги — ветераны. Ю. А. Романов, говоря о работе А. Д. Сахарова уже после первого испытания отечественной водородной бомбы в августе 1953 г., обращает внимание на то, что «ранней весной 1954 г. в обсуждениях с Зельдовичем родились идеи, к которым Улам и Теллер пришли в 1951 г.»² Беседуя об этом периоде с В. Б. Адамским, я узнал, что трудно было даже понять, чьи озарения великолепного творческого взаимодействия ЯБ и АД стали решающими.

Яков Борисович был в числе основных создателей первой отечественной атомной бомбы, успешное испытание которой 29 августа 1949 г. ликвидировало атомную монополию США.

Наконец, я уже не говорю о том, что если Андрей Дмитриевич, получивший ряд выдающихся результатов в астрофизике и теоретической физике, был наиболее изощрен, удачлив и неповторим в революционизирующих, важных для обороны страны и развития науки инженерных приложениях

своих блестящих физических идей, то Яков Борисович, внеся огромный вклад в атомную оборонную тематику страны и создав физическую основу внутренней баллистики твердотопливных ракет, оставил после себя не только необъятное богатейшее научное наследие, но и породил научные школы в области химической физики, гидродинамики, теории горения, ядерной физики, физики элементарных частиц и астрофизики.

Если говорить о творческом почерке Якова Борисовича и Андрея Дмитриевича, то они как бы обогащали, дополняли друг друга и в определенном смысле шли во встречных направлениях. Действительно, Зельдович, включаясь в новую для него область исследований, предпочитал «поставить и решить какую-нибудь задачу» и через обобщение шел к пониманию проблемы и глубинных связей. Для Андрея Дмитриевича, с его широкой эрудицией, как отмечал Тамм, «физические закономерности и связи явлений... непосредственно зримы и ощутимы во всей своей внутренней простоте»³, что и позволяло ему проявлять прямо-таки чудеса технической изобретательности.

Я не могу удержаться, чтобы не привести слова Андрея Дмитриевича: «В Якове Борисовиче всегда поражала неустанная научная активность, живой интерес ко всему новому, поразительные разносторонность и интуиция... Он все время на переднем крае, все время окружен людьми... Я чувствую, сколь многим я ему обязан. В чрезвычайной острой и напряженной обстановке тех лет — простые и товарищеские, в высшей степени доброжелательные отношения... В области фундаментальной науки многие мои работы возникли из общения с ним, под влиянием его работ и идей. Яков Борисович в науке — человек огромной жадности (в хорошем смысле слова) и в то же время абсолютной честности, самокритичный, готовый признать свою ошибку, правоту или авторство другого»⁴.

Оказавшись на «объекте» в коллективе А. Д. Сахарова в августе 1960 г., я сразу почувствовал гипнотическое, заворавающее очарование Зельдовича. Он был настолько яркой индивидуальностью, что мне, прочитавшему к тому времени «Атомы у нас дома» Лауры Ферми, показалось, что если и сопоставлять Якова Борисовича с кем-либо

¹ Харитон Ю. Б. Ради ядерного паритета // Досье ЛГ. 1990. Январь. С. 17.

² Романов Ю. А. Отец советской водородной бомбы // Природа. 1990. № 8. С. 20—24.

³ Из отзыва И. Е. Тамма о научной деятельности А. Д. Сахарова // Природа. 1990. № 8. С. 12.

⁴ Цит. по: Цукерман В. А., Азарх З. М. Люди и взрывы // Звезда. 1990. № 11. С. 118.

из знаменитых участников американского атомного проекта, то только с легендарным итальянцем Энрико Ферми. И я пережил «тихую радость», когда много позже узнал, что, по замечанию Л. Д. Ландау, ему не известен ни один физик, исключая Ферми, который обладал бы таким богатством новых идей, как Зельдович.

Дарование Якова Борисовича проявилось необыкновенно рано. В 1938 г., когда он был еще кандидатом наук, ученый совет Института химической физики единогласно выдвинул его в состав Академии (правда, в тот раз неудачно): «Успев в возрасте 24 лет уже столь много сделать для науки, продолжая все более интенсивно работать и расти, он, без сомнения, в дальнейшем обогатит науку еще более ценными результатами. Но уже и сейчас, независимо от его возраста, по качеству и количеству сделанного им он несомненно достоин звания члена-корреспондента Академии наук СССР»⁵.

Талантом и сообразительностью Зельдовича восхищались Семенов и Курчатов. Один из ярких и одаренных коллег Якова Борисовича по «объекту» Н. А. Дмитриев в пору, когда еще не существовало ЭВМ, сравнивал его сразу с десятком работающих арифмометров. Оценка по тем временам наивысшая!

Все понимали, что Зельдович — личность выдающаяся. Поражала легкость, с которой он периодически переключался с одной области физики на совершенно иную, очень скоро и тут становясь признанным лидером. И не порывал, как это водится у других, с предшествующими увлечениями. Он даже шутил, называя «вечнозелеными» свои работы в области горения и детонации, к которым возвращался вновь и вновь.

Руководители атомного ведомства страны высоко ценили Зельдовича. Когда в конце 1963 г. он уходил из оборонной тематики, вопрос — отпускать его или нет — болезненно решался в ЦК. Его уход рассматривался как большая потеря. И это перекликается с мнением Харитона, который испытывал «глубокою уверенностью, что если бы Сахаров и Зельдович продолжали свою деятельность в области оборонной тематики, они выкопали бы что-то существенное»⁶.

Совсем недавно, беседуя с Е. П. Славским, три десятилетия возглавлявшим Министерство среднего машиностроения, я поинтересовался его отношением к Якову Бо-

рисовичу. Ефим Павлович преобразился и восторженно воскликнул: «Зельдович — это же сверхталант! Вот это тала-а-ант! Какой умница, какой величайший человек!»

И наряду с этим — прекрасное чувство юмора. Чего-чего, а юмора Якову Борисовичу было не занимать! Искрометный, иногда с налетом язвительности и задиристости юмор был неотделим от Зельдовича, казался частью его натуры.

Он мог подойти к доске и со словами «Сейчас мы с вами нарисуем совершенно секретную окружность» под одобрительный гул присутствующих решительно взмахивал рукой. Если на семинаре увлекались статистическими выкладками, он любил приговаривать: «Есть ложь, наглая ложь и... статистика!» Укорял докладчика, если тот топтался «вокруг да около»: «Что это вы, как в индийском любовном эпосе — о цветах, птичках, солнце... Скажите, наконец, и о возлюбленной!»

В озорстве, розыгрышах и шутках, как и в острой реакции, все получалось у Якова Борисовича естественно и внезапно. Когда бывший коллега, сосед по даче, обратился за консультацией к нему, уже покинувшему «объект» и расставшемуся с секретной тематикой, Зельдович без промедления парировал: «Ради Бога, избавьте меня от этого! Я так хочу «стерилизоваться»! Ну, на кой черт мне эти бомбы — китайские, американские... Будь они все неладны!»

Веселый нрав и остроумие Зельдовича очень импонировали Курчатову. Однажды при драматических обстоятельствах он и сам стал невольным соучастником рискованной проделки. Вот как рассказывает очевидец происшествия В. И. Алферов:

«Во время подготовки к испытанию нашего самого первого атомного заряда заключительные операции выполнялись строго по технической инструкции: один читал, что делать, другие (как правило, двое) действовали. Читал обычно Харитон, сидя на стуле. А инструкция представляла собой нечто вроде детального сценария: правой рукой взять то, левой — это, так-то сблизить, так-то соединить и тому подобное. Подошла самая ответственная операция — сборка плутониевых полусфер; на нее пришли Курчатов и Зельдович. Две половинки собрали и приступили к техническому осмотру на соответствие чертежу. И тут вдруг выяснилось, что по кромкам плутониевых полусфер были выполнены фасочки, а на чертеже они отсутствовали! Формально — явное несоответствие. Да еще при том напряжении и ответственности... Игорь Васильевич хотя и понимал, что фаски для срабатывания изделия опасности не пред-

⁵ Физики о себе. Л., 1990. С. 391.

⁶ Харитон Ю. Б. Ради ядерного паритета.



Я. Б. Зельдович, А. Д. Сахаров и Д. А. Франк-Каменицкий в годы работы на «объекте». Начало 50-х годов.

ставляют, вмешался: «Почему выполнены фаски, а на чертеже их нет?» Начались объяснения. И в этот момент, как на грех, подошел окруженный свитой Берия. Чтобы разрядить ситуацию, Курчатов обратился к Зельдовичу: «Яков Борисович, посчитай, что может дать эта фаска. Сколько нужно времени?» — «Минут пятнадцать». — «Хорошо. Иди, считай». Не прошло и десяти минут, как Зельдович возвратился. «Ну, что, посчитал?» — спросил Курчатов. «Посчитал. Все будет в порядке». — «Покажи!» Я стоял как раз за спиной Зельдовича. Он разворачивает папку, а в ней — чистый лист бумаги. Игорь Васильевич, мгновенно приняв игру, хлопнул Зельдовича по плечу: «Правильно! Молодец!» На том и порешили, а Берия, стоявший, к счастью, в стороне от них, ничего не понял.

Его мгновенная реакция на слово, действие в ходе дискуссии с коллегой вызывала удивление и восхищение. И непроизвольное желание... платить той же монетой. Если это хотя бы иногда удавалось, случай превращался в легенду. Так, из уст в уста передавалась история, как на семинаре в институте М. В. Келдыша в ответ на вопрос Зельдовича

докладчик — один из известных математиков — отмахнулся: «Ну, Яков Борисович, вам это объяснять, что генералу...»

Обыгрывались и его постоянные поездки из Москвы на «объект» и обратно, где он руководил группами физиков:

Что за тележка у дядюшки Якова —
Едет и взад и вперед одинаково!

И так как с отъездом Якова Борисовича несколько спало напряжение в одной из групп, стихотворец отмечал:

Пусть половина другая почешется,
Эта ж пока отдохнет и утешится...

Яков Борисович ценил красоту в жизни. Но говорил, что для него не менее важно и ощущение красоты, которое возникает, если удастся что-то понять в природе и ее законах.

Для нас, молодежи, Яков Борисович и Андрей Дмитриевич были новым, удивительным типом академика. Демократизмом, отсутствием какого-либо намека на величие или начальственность, открытостью и доступностью они разрушали традиционное представление об академиках как объектах всеобщего почитания и поклонения. И вызывали у нас восхищение.

Их творческая «кухня» была открыта для всех. Нормальным, обычным были как дискуссия между ними, так и жаркий, на равных спор у доски с любым из нас. Или знакомство, например, по предложению Якова Борисовича, с его вычислениями или рукописью по рабочей тетради.

Невозможно даже представить, чтобы Зельдович или Сахаров устроили кому-нибудь из сотрудников «начальственный разнос». Атмосфера дружелюбия в коллективе была их заслугой, следствием внимания к каждому из нас. Мы знали, что оба отказались от обычных, регулярных по итогам работ денежных премий и постоянно перечисляли их, как сказали бы теперь, на благотворительные цели.

Зельдович был неизменным «возмутителем» научного спокойствия, поставщиком «последних известий» из самых различных областей физики. Его творческий потенциал казался безграничным. Он постоянно таялся к фундаментальной науке, работа в которой всегда считалась на «объекте» высшим классом. Яков Борисович старался быть на переднем крае, что-то творить и не позволял нам расслабляться и превращаться в заурядных «технарей». Заботясь о том, чтобы самому быть в отличной «научной форме», он был подлинным живительным источником для коллектива, ибо ни свои знания, ни идеи Зельдович, по удачному замечанию Адамского, в себе не держал и быстро выплескивал. Его стихией было как раз генерировать научные идеи и облекать в плоть физические догадки, зажигать и вовлекать в процесс научного творчества окружающих людей, и особенно молодежь.

Даже при самой первой встрече, когда я столкнулся с ним в коридоре и он тут же, протянув руку, представился: «Зельдович. А кто вы?» — я не избежал приглашения зайти в его кабинет на начавшийся семинар. Кстати, в тот раз он сам был докладчиком и, рассказывая что-то из области элементарных частиц, на ходу уличил себя в погрешности. И тут же у доски все поправил. В заключение удовлетворенно заметил: «Вот видите, как полезно выступать на семинарах!» Уже тогда я обратил внимание на атмосферу непосредственности, доброжелательности и неистощимого остроумия. Тон, конечно, задавал Яков Борисович.

Могло случиться и так. Только Зельдович начнет свой доклад, как вскакивает Коля Дмитриев и как бы всерьез предлагает: «Э, нет! Давайте позовем Андрея Дмитриевича! Для инспекции». Приходит Сахаров, садится. Зельдович продолжает свое сообщение. Конечно, ни о какой инспекции речи

нет. Но цель достигнута: настроение на семинаре создано.

И все-таки следует оговориться, что подобные шутки вне ситуации, приобретающие в тех или иных высказываниях и воспоминаниях как бы самостоятельное звучание, обедняются и акценты смещаются. К примеру, вряд ли может возводиться в абсолют (вне озорной атмосферы семинара) реплика Якова Борисовича: «Андрей, вам уже, конечно, все ясно! Поэтому вы погуляйте с полчасика, пока мы доберемся до сути. И тогда вас позовем».

Однако правда и то, что Яков Борисович всегда выделял Андрея Дмитриевича, посматривал, как он реагирует. Они вообще представляли собой великолепный научный дуэт. И зачастую действовали в контакте друг с другом. От В. Д. Шафранова я узнал примечательную историю. Почти 35 лет назад, еще молодым теоретиком, Виталий Дмитриевич сделал работу по структуре ударной волны в плазме и послал статью в научный журнал. Оказалось, почти одновременно созвучную работу выполнил Яков Борисович, и его рукопись также была направлена в редакцию этого журнала. В каждой работе были свои достоинства, но в одном месте просматривалось некое совпадение. В редколлегии, вероятно, возникли сомнения, как поступить с рукописью Шафранова при наличии статьи Зельдовича. Поэтому решили устроить встречу авторов с соответствующим обсуждением. Встреча состоялась. Но сюрпризом было то, что Яков Борисович приехал в Институт атомной энергии к Виталию Дмитриевичу не один, а ... с Андреем Дмитриевичем. Вспоминает В. Д. Шафранов: «Яков Борисович в присутствии Сахарова устроил мне нечто вроде экзамена. Так как для меня это были уже ясные, продуманные вещи, то я ответил на все вопросы, в том числе и на показавшийся мне каверзным вопрос о роли электрического поля. Атмосфера встречи резко изменилась, и он очень дружелюбно закончил беседу. Андрей Дмитриевич, которому, как мне показалось, была отведена роль беспристрастного арбитра, молча отсиживался рядышком, так и не задав ни одного вопроса. А наши статьи были опубликованы то ли в одном номере журнала, то ли друг за другом».

Поток научных публикаций Зельдовича в самых различных областях физики не иссякал. И среди нас даже проскальзывали шуточные реплики с этойкой напускной бравадой молодости: «Ну, как, читал в журнале очередную университетскую задачку ЯБ?» Но мы и тогда прекрасно создавали как

цену этим «задачкам», так и глубину и смелость научной фантазии Якова Борисовича.

Если бы мне пришлось давать лаконичную характеристику Якову Борисовичу, я сказал бы, что он обладал азартной юношеской увлеченностью наукой и невообразимой энергией. В науке Зельдовича привлекал, говоря его словами, не только каскад уже сделанных открытий, но и прежде всего явная, зияющая незавершенность теории. При творческом общении с ним неизменно возникало непередаваемое прекрасное ощущение соприкосновения с передним краем в исследовании, с его «кромочкой», за которой главенствуют не столько ответы, сколько вопросы, число которых нарастало как лавина. Он обладал безошибочным и таинственным даром — чувствовать «почки роста» науки.

Даже приезд Зельдовича на работу становился событием. Он лихо подкатывал на белой «Волге» к зданию, закладывал энергичный вираж и, дав задний ход, прижимал машину багажником к стене. Так же энергично поднимался на наш этаж и уже в коридоре, направляясь в кабинет, кому-то давал поручения, кого-то, заглянув в комнату, приглашал к себе. И все это — с неизменной веселой шуткой. Он мог появиться в аккуратном ладном костюме и даже иногда с одной звездой Героя (но никогда с двумя или тремя!) на лацкане пиджака, который в кабинете тут же водружался на спинку стула.

Обращала на себя внимание и его озорная непосредственность. Г. Л. Шнирман вспоминает переполох, который случился на полигоне, когда вдруг обнаружилось, что в местную охраняемую гостиницу не через вход, а (по совершенно непонятной причине) через окно в свою комнату на первом этаже залезал член-корреспондент АН СССР Я. Б. Зельдович. «Он резвился, как человек, еще не достигший зрелого возраста». И резвиться очень любил. Как-то несколько сотрудников, включая Якова Борисовича, безуспешно уговаривали пойти на прогулку Д. А. Франк-Каменецкого. Тот все артачился и идти не хотел. Тогда четвером, во главе с Яковом Борисовичем, они взяли за углы одеяло, на котором на кровати отдыхал ДА, подняли его и вышли с необычной ношей из здания гостиницы мимо повстречавшихся недоумевающих генералов из местного начальства.

Яков Борисович не упускал случая подучаиться, и его проделок, вплоть до внезапного «таинственного» исчезновения из помещения, не могли избежать даже представленные к нему одно время два телохранителя. Один из них был полный, в воз-

расте (видимо, дослуживал свой срок перед пенсией) и не умел плавать. Находясь в командировке на полигоне, Яков Борисович обожал размяться и понырять в водах Иртыша. Можно представить комизм ситуации и состояние этого бедняги, находившегося «при исполнении служебных обязанностей» и беспомощно переживавшего на берегу, в то время как его неистощимый на розыгрыши «подопечный» развлекался в реке и голова его нет-нет да и скрывалась под водой.

Но страсть к науке у Якова Борисовича преобладала над всем остальным. Он не расставался с маленькой логарифмической линейкой, которой виртуозно владел, как и с толстой общей тетрадью, в которой производил выкладки и вычисления. Он не упускал случая обсудить с собеседником интересовавшие его научные вопросы. Профессиональные дискуссии с ним отличались динамизмом и экспрессией. Ознакомившись с только что опубликованной в журнале «Атомная энергия» его статьей «Начальные стадии эволюции Вселенной»⁷ и обнаружив некоторые неточности, я зашел к нему в кабинет. Без промедления мы оказались у доски, и я еле успевал следить за танцующим мелком в руке Якова Борисовича. Реплика, вычисление, снова реплика, возражение, контрвозражение... И вдруг — с довольной улыбкой: «Уели, уели академика!» Затем он подошел к рабочему столу, раскрыл общую тетрадь и предложил прочитать рукопись его последней работы — не заинтересует ли. Заинтересовала... Улетая на традиционные две недели в Москву и разминувшись со мной, оставил для меня уже записку-задание. И пока задание не было выполнено, терпеливо и заинтересованно опекал.

А когда работа была завершена и я предложил опубликовать ее совместно, Яков Борисович категорически возразил: «Нет! Это ваша статья!» Ознакомившись с рукописью, основательно покритиковал ее (письменно!) и дал мне несколько советов по совершенствованию текста. Это был предметный, впечатляющий и незабываемый урок «мэтра»⁸.

Замечательный пример дал Зельдович своим молодым коллегам. Именно тогда, на рубеже 1961—1962 гг. он сделал резкий «крен» от физики элементарных частиц к

⁷ Атомная энергия. 1963. № 7. С. 92—99.

⁸ См.: Смирнов Ю. Н. Образование водорода и He⁴ во Вселенной на дозвездной стадии (в модели Гамова) // Астроном. журн. 1964. Т. 12. № 6. С. 1084—1089.



С. Ю. Б. Харитоном во время празднования общего «150-летнего юбилея (80-летия ЮБ и 70-летия ЯБ). Москва, 1984 г.

теории относительности и космологии. И решительно переориентировав тематику семинара, увлек за собой молодежь. Наши стартовые позиции сравнялись: Яков Борисович и мы начали синхронно вживаться в «Теорию поля» Ландау и Лифшица. От семинара к семинару мы изучали и по очереди, по главам, докладывали содержание книги, которая очень нравилась Зельдовичу. (Более того, он как-то заметил, что, перевернув монографию В. А. Фока «Теория пространства, времени, тяготения», увидел в ней пример того, как она перегружена математикой и «как нельзя писать книги».) Дискуссии порождали вопросы, которые превращались в задачи, и незаметно для нас пошла публикация участников семинара. Яков Борисович бурно «набирал обороты», быстро и уверенно становясь авторитетом в новой для себя области физики.

Не обошлось, однако, и без «осечек». Я уже упоминал статью Зельдовича в «Атомной энергии». В ней он предложил гипотезу «холодной» модели развития Вселенной в отличие от «Большого взрыва» в модели Г. Гамова. И возлагал на свою гипотезу большие надежды.

Разработке «холодной» модели Все-

ленной Яков Борисович придал необычайный размах. Он популяризировал ее среди своих коллег и на всевозможных общедоступных лекциях, которые всегда проводил с завидным мастерством; был неистощим на увлекательные задачи, и часть его молодых сотрудников — участников семинара — с энтузиазмом развивала предложенную «мэтром» модель. Заинтересовался и увлекся ею и Андрей Дмитриевич, опубликовавший по меньшей мере две работы в рамках гипотезы Зельдовича. Поглощенный «объектовой» тематикой, Сахаров в течение нескольких предшествующих лет «отмалчивался» на страницах открытых общезначимых журналов. И обращение к гипотезе Зельдовича было для него своеобразным «пробуждением».

Так продолжалось два-три года. Но с открытием в 1965 г. А. Пензиасом и Р. Вильсоном космического микроволнового реликтового излучения, увенчанном Нобелевской премией, «холодная» модель в своей изначальной форме рухнула. Однако фактом является то, что Яков Борисович, занимаясь с сотрудниками не только разработкой «холодной» модели, но и одновременно сопоставлением ее с моделью «Большого взрыва», был на самом гребне захватывающих фундаментальных исследований и в полушаге от триумфа. Тогда фортуна, как это случается в науке, не была благосклонна к нему, и решающий успех достался другим.

Яков Борисович переживал. Л. В. Альтшулер вспоминает: «Как-то он пришел к нам домой очень подавленный. И говорил, что из общефизических соображений имел полное основание выдвинуть свою гипотезу «холодной» Вселенной. «Но я обязан был сказать,— продолжал Яков Борисович,— что если она все же «горячая», то должно быть реликтовое излучение! И указать экспериментаторам, что и как наблюдать».

Служа истине в науке, он с достоинством признал поражение. (В виде курьеза упомяну, что позднее он оценил Фока, отметив его «глубокую и блестящую математическую технику».) А признав, со всей страстью пропагандирует эпохальное значение открытия реликтового излучения для представления о развитии Вселенной. Помню, как по горячим следам он делает блистательные сообщения в Институте физических проблем, на Международной конференции по ударным волнам в плазме в новосибирском Академгородке, выступает перед ма-

тематиками, привлекая их внимание к задачам космологии.

И вновь нарастающий поток публикаций!

Великий талант не укладывается в прокрустово ложе обычных житейских представлений. И в повседневной жизни своими проявлениями вызывает разнородные реакции. Как, впрочем, и окружающий мир. Но в путанице и хаосе обступающих нас нагромождений спасает ясная и мудрая мысль, заключенная в поэтических строках, столь любимых Яковом Борисовичем:

Сотри случайные черты —

И ты увидишь: мир прекрасен.

Как физик Яков Борисович обладал великим талантом. И как всякий щедро одаренный человек, он не для всех и не всегда был прост, «правилен» и удобен. Но вспоминаю эту выдающуюся личность, проникнемся пониманием, что время, поглотив частности и «случайные черты», сохранит ее истинный и величественный масштаб.

На пути к универсальному слабому взаимодействию

Член-корреспондент РАН

С. С. Герштейн

Институт физики высоких энергий
Протвино

Я НАВСЕГДА запомнил свою первую встречу с ЯБ. Осенью 1951 г. после окончания МГУ я оказался учителем физики и математики в средней школе с. Белоусово Калужской обл., в 105 км от Москвы. Сидя вечерами за столом со старой крестьянкой, в избе которой я жил и которая трогательно заботилась обо мне, я при свете керосиновой лампы (электричество часто отключали) просматривал свои университетские записи и под стук дождя, бившего в окно, за которым была сплошная темень, мысленно прощался с научной деятельностью, к которой готовился в университете.

Друзья-однокурсники, однако, не оставляли меня. Один из них, Сергей Репин, навестив меня, спросил: «Почему бы тебе не попытаться сдать Ландау-минимум?» — и сообщил телефон ЛД. Я позвонил Дау и стал сдавать ему экзамены. В начале 1953 г., когда я сдал последний, ЛД сказал: «Придумывайте себе тему и постарайтесь посещать

семинар. К сожалению, взять вас к себе не могу. Я уже выяснял этот вопрос, ничего не получается».

Легко сказать: — «придумывайте тему». Свежие журналы я мог читать только урывками, приезжая в Москву, а ядерную физику и физику элементарных частиц мы в университете тогда вовсе не изучали (эти предметы читались только на секретном ядерном отделении физфака). Тем не менее я постарался выкроить в школе свободный день, четверг, для посещения семинаров ЛД (что было весьма непросто при нагрузке 44 часа в неделю в две смены) и через две недели после разговора с ЛД приехал на семинар. До начала семинара, усевшись где-то в средних рядах, начал просматривать свежий номер «Physical Review», который мне дали на два часа. Неожиданно на свободный стул рядом со мной сел незнакомый человек невысокого роста, в круглых очках, поразивший меня какой-то необычай-

ной внутренней энергией. Эта энергия чувствовалась в его на редкость живых глазах, нетерпеливости движений. Казалось, он с трудом может усидеть на месте, оглядывая собирающихся на семинар и ища взглядом кого-то из знакомых. Мимоходом он бесцеремонно заглянул в мой раскрытый журнал и разочарованно отвернулся, убедившись, что этот номер он уже видел. Вскоре начался семинар. Не помню, что докладывалось, кажется, какая-то статья по кинетике. Неожиданно мой сосед вступил в спор с докладчиком. В этот спор ввязался и ЛД, и разговор сразу превратился в дискуссию между Дау и моим соседом, быстро переместившимся на место в первом ряду. «Кто же это такой?» — подумал я, зная, что дискуссию с ЛД редко кому удавалось долго выдерживать. Еще больше меня удивили слова Дау: «Да, я думаю, вы правы». Такое бывало совсем уж редко. Никого из знакомых рядом не было, чтобы спросить, кто же был моим соседом.

После семинара Дау вышел в коридор, но затем, вернувшись в зал, подошел ко мне, попросил следовать за ним, подвел к так заинтересовавшему меня незнакомцу и представил: «Вот молодой человек, о котором я вам говорил. Берите его, он всячески жаждет деятельности». Тот коротко сказал мне «пойдемте», и мы пошли к нему домой вместе с еще двумя приглашенными. Из разговора я понял, что оба они — ленинградцы (это были И. М. Шмушкевич и Л. А. Слив, ставшие впоследствии моими друзьями). Войдя в квартиру, хозяин коротко скомандовал открывшей дверь женщине: «Саша, поестъ», а обращаясь к нам: «Все разговоры после обеда». Когда, пообедав, мы перешли в небольшую комнату, служившую кабинетом, он начал разговор по науке с двумя моими новыми знакомыми, а мне протянул машинописные страницы со словами: «Вы пока почитайте». Я прочитал фамилию автора статьи и только тогда понял, что говорю с Зельдовичем. Я испытывал невольную робость. Дело в том, что в те времена имя ЯБ было окружено покровом секретности. Учась в МГУ, мы слышали о предвоенных работах Зельдовича и Харитона по цепным реакциям деления урана, о работах Зельдовича по горению и детонации, поэтому не сомневались, что он привлечен к работам по созданию атомной бомбы.

Закончив разговор с двумя ленинградцами, ЯБ позвал меня к столу и стал рассказывать нам свою новую теорию β -распада. Было видно, что он очень увлечен и доволен полученным результатом. На прощание он дал мне несколько машинописных экземпля-

ров своих работ и сказал, чтобы я прочел их и пришел через две недели, когда он снова будет в Москве.

Когда я в следующий раз появился на семинаре Ландау, он спросил: «Ну, как вам ЯБ?» И, не дожидаясь ответа, сказал: «Скучать он вам не даст. Я не знаю человека, у которого в голове было бы столько идей. Разве что у Ферми. Кроме того, у ЯБ железная хватка, и он заставит вас работать в полную силу». Это совпало с моим впечатлением. Статьи, которые ЯБ дал мне при знакомстве, затрагивали самые разные вопросы. Была работа о бариионном заряде (который ЯБ переоткрыл, не зная о более ранних работах Вигнера и Штукельберга, и которая впоследствии послужила образцом для его схемы лептонного заряда); о комптон-эффекте на поляризованных электронах (позволяющая измерять циркулярную поляризацию γ -квантов); и, наконец, о вариантах β -распада. Последняя больше всего заинтересовала меня, и я решил заниматься этими проблемами.

Впоследствии я не раз думал, насколько мне повезло в жизни: я познакомился с ЯБ именно в то время, когда его привлекала физика элементарных частиц. Хорошо известно, что в течение своей научной деятельности ЯБ неоднократно менял главную область своих интересов — от химической физики (катализа, горения, детонации) к ядерной физике, теории элементарных частиц, а затем к астрофизике, гравитации и космологии. Такое смещение интересов было не случайно. Обладая широтой и поразительной интуицией, ЯБ выбирал наиболее интересные и животрепещущие проблемы своего времени. В начале 50-х годов такой проблемой стала физика слабого взаимодействия. После открытия в конце 40-х годов распадов $\pi \rightarrow \mu, \gamma$ $\mu \rightarrow e$ и μ -захвата стало ясно, что эти процессы происходят под действием сил такого же порядка величины, что и известный β -распад. Таким образом, возникла идея, что все эти процессы обусловлены особым «слабым» четырехфермионным взаимодействием, имеющим универсальный характер. Очевидно, гипотеза о существовании нового элементарного взаимодействия (наряду с сильным, гравитационным и электромагнитным) имела фундаментальное значение, однако для ее проверки необходимо было прежде всего знать варианты слабого четырехфермионного взаимодействия для всех известных процессов. А экспериментально они не были надежно установлены даже для давно изучавшегося β -распада. Из пяти возможных вариантов четырехфермионного взаимодействия (ска-

лярного S , векторного V , тензорного T , аксиально-векторного A и псевдоскалярного P), в β -распаде отдавалось предпочтение варианту T , а также предполагалось существование одного из так называемых фермиевских вариантов (V или S).

Начиная заниматься новой областью исследований, ЯБ старался прежде всего выделить основные проблемы этой области и искать общие принципы для их решения, при этом он часто выявлял новые проблемы, которые не были известны специалистам, но впоследствии приобретали фундаментальное значение; так было, например, с проблемой наблюдаемого предела на величину космологической постоянной. ЯБ решил, что общий принцип, на основе которого надо искать варианты β -распада, есть перенормируемость теории. Как известно, этот принцип сыграл впоследствии важную роль в создании теории электрослабого взаимодействия. Однако сделано это было в другой форме, нежели предполагал ЯБ. В начале же 50-х годов было известно, что перенормируема, помимо электродинамики, теория со скалярными и псевдоскалярными частицами. Исходя из этого, ЯБ предположил, что промежуточными частицами в β -распаде являются именно такие частицы, и получил $(V+T)$ -вариант β -распада, который, как тогда казалось, полностью соответствовал экспериментальным данным. Поэтому легко понять его радость. Стремясь получить дальнейшие экспериментально наблюдаемые следствия своей теории, которые могли бы подтвердить ее или опровергнуть, ЯБ заметил, что в его схеме учет кулоновского поля ядер должен приводить к примеси других вариантов β -взаимодействия и сказываться на спектре электронов в β -распаде. Расчет этого явления он мне и поручил.

Встречались мы обычно так: ЯБ, приезжая на короткое время в Москву, давал телеграмму мне в Калужскую область и назначал время, когда я должен был к нему прийти (как правило, к шести утра). Добираясь с трудом на Воробьевское шоссе к назначенному часу (городской транспорт только начинал работать), я заставал ЯБ полуодетым, но уже сидящим за письменным столом. Занятый, в основном, своим «специальным делом», ЯБ выкраивал редкие часы для занятия наукой. Иногда наши встречи происходили за несколько часов до отъезда ЯБ на «объект», и тогда дверь мне открывали «секретари», которые, как я догадывался, должны были сопровождать ЯБ. После обсуждений он заставлял меня позавтракать со своей семьей, и я, первое время стесняясь, поражался обстановке доброжелательности

и естественности, царившей в доме Зельдовичей. Было видно, что это трудовая семья, где каждый добросовестно занимается своим делом — будь то научная работа или учеба в школе.

Для многих людей, соприкасавшихся с ЯБ, было загадкой, как ему удавалось, сменив область интересов, с одной стороны, очень быстро освоить новое направление, а с другой — оставаться в курсе развития прежних работ и время от времени возвращаться к ним, получая новые блестящие результаты. Работая с ЯБ, я понял, что никакого секрета тут нет. Помимо таланта (того, что можно назвать Божьей милостью) это связано с методом работы ЯБ. Начиная осваивать новую область, он прежде всего находил специалистов из числа молодых людей, беседуя с которыми «на равных», он мог быстро ознакомиться с основными результатами, полученными в этой области¹. Процессу обучения во многом помогал демократизм ЯБ и отсутствие у него «профессорского чванства». Он не стеснялся задавать «глупые» вопросы в любой аудитории и получать на них часто снисходительно-почтительные ответы специалистов (я помню шуточку, которую любили повторять некоторые «серьезные» молодые люди: «ЯБ хочет применить физико-химические методы к теории элементарных частиц»). Но обычно скоро оказывалось, что некоторые «глупые» вопросы ЯБ ставят в тупик специалистов, что в действительности это — новая постановка проблемы или вообще совершенно новая проблема, о которой раньше не думали.

Кроме того, для ЯБ был характерен активный подход к процессу «обучения». Найдя неясный вопрос или новую задачу, он обучался в самом процессе их решения. Запомнились его слова, которые он как-то сказал мне, узнав, что я изучаю теорию перенормировок: «Что толку изучать впрок? Надо найти и решить какую-нибудь задачу, тогда вы по-настоящему и изучите». По мере накопления новых задач ЯБ собирал вокруг себя молодых, начинающих физиков и, работая вместе с ними, быстро осваивал новую для себя область. Так складывалась очередная новая школа ЯБ, которая продолжала исследования и после того, как интересы учителя смещались в другую область.

ЯБ обычно обсуждал с учениками содержание своих ответственных докладов.

¹ Так, для «обучения» ЯБ β -распаду Ландау порекомендовал ему одного из талантливейших своих учеников — В. В. Судакова.



Во время дискуссии. Начало 80-х годов.

В связи с этим я запомнил такой эпизод. В 1954—1955 гг. И. В. Курчатов для расширения кругозора своих сотрудников и возможности выбора новых направлений научной деятельности решил организовать цикл лекций по наиболее актуальным проблемам физики. Несколько лекций по β -распаду и слабым взаимодействиям он попросил прочитать ЯБ. Тот отнесся к просьбе серьезно, так как совершенно справедливо считал, что физики, особенно экспериментаторы, могут внести большой вклад в изучение указанных проблем. Поэтому он постарался сделать изложение максимально доступным для экспериментаторов, ранее не занимавшихся рассматриваемыми вопросами. Надо сказать, что таким искусством ЯБ владел как никто другой. Готовясь к лекциям, он пригласил Судачова и меня, и мы вместе долго обсуждали не только их содержание, но и способы изложения отдельных вопросов. Своего рода наградой было то, что ЯБ взял нас на свои лекции и по их окончании представил Курчатову в качестве своих помощников.

К этому времени я уже снова жил в Москве: отработав положенные три года в

сельской школе, я переехал в Москву, чтобы быть поближе к науке; надеялся устроиться преподавателем в каком-нибудь вузе или, если повезет, в научном учреждении. ЯБ и Дау рекомендовали меня в несколько мест, но всякий раз, когда доходило до отдела кадров, решение затягивалось на месяц или два, а затем я получал отказ под более или менее благовидным предлогом. Я перебивался, давая уроки.

ЯБ, интересуясь моими делами, неоднократно предлагал деньги, от которых я, разумеется, отказывался, говоря, что они мне не нужны. Обстоятельства позволили узнать, с какой деликатностью ЯБ может настоять на своем (впоследствии мне неоднократно приходилось встречаться с подобными проявлениями по отношению к себе и другим людям). В результате я продержался до мая 1955 г., когда Ландау удалось осуществить свой план и взять меня в аспирантуру Института физпроблем.

Между тем продолжались наши с ЯБ научные обсуждения. Расчет эффекта, который я проделал, оказался бесполезным, так как к тому времени экспериментаторы уверенно утверждали, что β -взаимодействие представляет сумму скалярного и тензорного вариантов (а не векторного и тензор-

ного, как это следовало из теории ЯБ). Я чувствовал, что он огорчен тем, что моя работа оказалась напрасной, и ищет новую задачу. Однажды, обсуждая экспериментальные данные, он сказал мне: «Опыты показывают, что отношение гамов-теллеровской и фермиевской констант не слишком сильно превышает единицу. Было бы очень красиво и важно для понимания природы слабых взаимодействий, если бы для «голого» нуклона обе константы были одинаковы, а небольшое различие между ними возникало из-за того, что нуклоны окружены пионной шубой. Давайте рассчитаем этот эффект». Помня замечание ЯБ о том, что учиться надо на задачах, я предложил провести расчет для всех возможных вариантов взаимодействия. ЯБ согласился. Когда мы, действуя независимо, закончили расчеты и стали сверять полученные результаты, то обнаружили, что в векторном варианте у нас существует расхождение. Я, работая ученически, аккуратно использовал матрицы изотопического спина, а ЯБ, стараясь быстрее получить результат, действовал несколько кустарно, используя одну и ту же константу для взаимодействия нейтрального пиона с протонами и нейтронами (в то время как она имеет разный знак для обоих случаев). Обнаружив причину расхождения наших результатов, ЯБ воскликнул: «Теперь я понимаю, чем симметричная теория отличается от изотопически-инвариантной».

Однако неожиданности ждали нас впереди. Учтя в векторном варианте возможность β -распада заряженного пиона (которую ЯБ ранее вычислил на основе модели Ферми — Янга, используя, по существу, только изотопическую инвариантность этой модели), мы обнаружили, что пионные поправки не меняют константу слабого векторного взаимодействия. Этот результат сразу заинтересовал нас, хотя, казалось, и не относился к реальному, установленному на опыте, закону β -взаимодействия. Сначала мы подумали, что этот результат связан с низшей поправкой теории возмущений, с которой мы работали. Однако после некоторых обсуждений поняли, что он представляет аналог сохранения электрического заряда протона, который не меняется при учете сильного взаимодействия с пионами, и даже увидели возможность точно доказать это, используя тождество Уорда.

Мы понимали, что в случае векторного варианта открылась бы возможность точной экспериментальной проверки универсальности слабого взаимодействия. С прагматической же точки зрения нам приходилось довольствоваться лишь подтверждением

ЯБ. Наш результат для скалярного и тензорного вариантов показывал, что наблюдаемое на опыте отношение гамов-теллеровской и фермиевской констант вполне совместимо с предположением о равенстве этих констант для «голого» нуклона. «Надо писать статью», — сказал ЯБ. Однако возникло новое препятствие. Придя в назначенное время домой к ЯБ, я нашел записку, в которой он предупреждал, что задержится, и просил подождать. Записка начиналась словами: «Увы нам...», а под ней лежал свежий номер «Physical Review» со статьей Финкельштейна и Мошковского, где рассматривалась аналогичная задача для скалярного и тензорного вариантов и делались те же выводы. Новизна была утеряна. Более того, расчет был проделан авторами на основе модели Чу и Лоу, которая, разумеется, лучше учитывала сильное взаимодействие, нежели теория возмущений, от которой мы ожидали лишь качественного подтверждения гипотезы.

Я был огорчен, понимая, что ЯБ будет также огорчаться, и в значительной степени — из-за меня. Но ЯБ не унывал. Вернувшись домой, он предложил совместно разобрать статью Финкельштейна и Мошковского, и, изучая ее, мы обнаружили некоторые недочеты. Они не меняли основного вывода авторов, но были существенны для сравнения β - и μ -распадов. «Это предмет для короткой заметки», — сказал ЯБ. — Заодно отметим и свойство векторного варианта. Надо, чтобы у вас появилась печатная работа». К следующему моему приходу у него уже был написан черновик статьи. Прочитав его и сделав некоторые поправки, я спросил: «Не будет ли ругаться Дау по поводу векторного варианта? Ведь он не любит отвлеченных рассуждений по поводу того, чего на самом деле нет». «Нельзя проходить мимо такой красивой возможности», — ответил ЯБ. — А если вы так боитесь Дау, давайте перед абзацем о свойствах векторного варианта вставим слова: «не представляет практического значения, но методически очень интересно...». И мы послали статью в печать. Через пару лет закон сохранения векторного тока был переоткрыт Р. Фейнманом и М. Гелл-Манном в их знаменитой работе, где они практически одновременно с Маршаком и Сударшаном предложили теорию универсального (V—A)-слабого взаимодействия. Как отмечал впоследствии Фейнман, ни он, ни Гелл-Манн не знали о нашей работе (но в дальнейшем всегда на нее ссылались).

Возвращаясь через много лет к этой нашей работе, ЯБ всегда высказывал удов-

летворение, что мы, несмотря на существовавшую тогда экспериментальную ситуацию, заметили свойство векторного варианта, сыгравшее важную роль в экспериментальной проверке универсального характера слабых взаимодействий и стимулировавшее развитие калибровочных теорий. В этом, на мой взгляд, проявилось характерное для ЯБ стремление к всестороннему анализу любого рассматриваемого вопроса. Его научная раскованность и отсутствие боязни показаться кому-нибудь смешным позволяли ему широко обсуждать, казалось бы, нереализуемые в природе возможности. Многие из подобных замечаний ЯБ, сделанных как бы походя, в дальнейшем оказывались очень важными. Хочу привести в связи с этим два примера. Так, А. М. Будкер вспоминал, что его желание заняться встречными пучками было инициировано словами ЯБ, сказавшего во время одного из своих докладов: «Этот вопрос можно было бы выяснить, если бы существовали встречные пучки, но, видимо, создать их невозможно». Будкер говорил, что слово «невозможно» задело его за живое, и он стал искать способы технической реализации идеи. Впоследствии, когда это удалось и на встречных пучках были сделаны выдающиеся открытия, Будкер неоднократно отмечал вклад Зельдовича.

Другим примером служит замечание, сделанное в классической предвоенной работе ЯБ и Харитона о цепных реакциях деления. Обсуждая вопрос о возможности осуществления цепной реакции в природном уране, авторы отметили, что приблизительно миллиард лет назад, когда процент содержания ^{235}U был существенно больше, это можно было бы сравнительно просто сделать. Важность этого замечания была по-настоящему оценена после открытия природного реактора, действовавшего около 2 млрд. лет назад в Африке. ЯБ очень сокрушался, что, сделав указанное замечание, он не предсказал возможности существования в прошлом природных реакторов.

Надо отметить, кстати, что ЯБ, человек очень искренний и непосредственный, никогда не скрывал досаду на себя в тех случаях, когда, будучи на правильном пути в решении поставленной им самим задачи, упускал какие-то следствия или окончательное решение вопроса. Вместе с тем это не мешало ему, как истинному ученому, восхищаться результатами, полученными другими исследователями, и всячески их превозносить. Вспоминаю слова, услышанные мною от Дау в конце 50-х годов: «У ЯБ поразительное чутье и везение. Сейчас это уже не является секретом, поэтому я могу вам рас-

сказать. Когда ЯБ впервые поднял вопрос о термоядерной реакции, было выяснено, что в дейтерии ее осуществить не удастся, так как измеренное на опыте эффективное сечение dd-реакции для этого слишком мало. Тогда ЯБ начал приводить, как мне тогда казалось, совершенно неосновательные доводы в пользу того, что сечение реакции дейтерия с тритием должно быть значительно больше. Когда его измерили, оно действительно оказалось в 100 раз больше, чем dd-сечение, из-за резонанса в ядре ^5He , о котором мы и не думали. Однако еще до этого уверенность ЯБ в большой величине сечения реакции дейтерия с тритием была настолько велика, что начали строить заводы. Позднее, когда Сахарову удалось найти чрезвычайно эффективное техническое решение проблемы, ЯБ всем говорил: «Я — что, а вот Андрей!»

Мое сотрудничество с ЯБ продолжалось и после поступления в аспирантуру к Ландау. Новым толчком к нашей совместной деятельности послужило открытие в 1957 г. Альваресом и другими мюонного катализа ядерных реакций в водороде и установление универсального слабого взаимодействия. Мы увидели, что эти две области связаны между собой, так как различные мезоатомные и мезомолекулярные процессы в водороде, определяющие протекание μ -катализа, существенно влияют на захват мюонов протонами. Явление необходимо было изучить экспериментально для всесторонней проверки теории универсального слабого взаимодействия. В области мезомолекулярных процессов нам удалось открыть ряд неизвестных механизмов, объяснить существовавшие экспериментальные данные и предсказать новые явления. В июне 1958 г., когда ЯБ избирали в действительные члены АН СССР, он выбрал в качестве доклада на Физико-математическом отделении Академии именно эту тематику (поскольку о результатах закрытых работ, которым в течение полутора десятилетий ЯБ отдавал всю свою энергию и талант, говорить было нельзя). Помню, утром перед докладом ЯБ позвал меня к себе, и мы обсудили некоторые детали. А потом я, прослушав его доклад, почти весь день просидел, волнуясь, в Институте физпроблем, дожидаясь результатов голосования. Причины для волнений были. Ландау, заходя в нашу аспирантскую комнату, рассказывал о разных предвыборных академических интригах. Он опасался, что независимый характер ЯБ, для которого на первом месте было дело, мог вызвать недовольствие некоторых академиков. Так я впервые стол-

кнулся с академической «изнанкой» и глубоко переживал за ЯБ. К счастью, все закончилось благополучно, и ЯБ был единодушно избран академиком. (Дау рассказывал, что большое впечатление на присутствовавших произвело выступление Курчатова в поддержку ЯБ.)

Под влиянием ЯБ физика мюонов на многие годы определила область моих научных интересов...

В 1960 г. мы вместе с ЯБ написали обзор в «УФН», посвященный μ -катализу. При этом ЯБ дал мне две свои тетради, которые он вел в 1957 г. после открытия Альвареса. Это чтение позволило мне глубже проникнуть, как принято говорить, в творческую лабораторию ЯБ. Судя по записям, тетради велись во внеслужебное время на «объекте» и в Москве. По ним можно увидеть, как работал и мыслил ЯБ: ставил задачи, проводил оценки, перепроверял их различными способами. Он не чурался рутинных расчетов, вычисления интегралов, экстраполяции, численных оценок. Есть в тетрадях краткие конспекты работы Альвареса (вместе с обработкой его результатов, сделанной самим ЯБ), а также работы Франка в «Nature», выполненной в 1947 г., и опубликованного отчета Сахарова 1948 г. (о последних двух работах ЯБ узнал только в 1957 г.). Встречаются и следы обсуждений, которые ЯБ проводил в то время с Сахаровым.

В нашем обзоре я постарался развить некоторые мысли ЯБ из его тетрадей, руководствуясь его наставлениями о том, каким должен быть, по его мнению, обзор. «В обзоре, — говорил ЯБ, — должно быть, прежде всего, хорошее введение, в котором дается ясная постановка проблемы, доступная для понимания любого физика, не занимающегося этими вопросами. Далее, должна быть полнота охвата. Не следует бояться разъяснений по общим вопросам, где они необходимы, чтобы основное содержание было полезно и для специалистов, и для людей, желающих войти в рассматриваемую проблему». Я постарался в дальнейшем всегда руководствоваться этими наставлениями ЯБ, и сейчас, когда, спустя 30 лет, встречаю ссылки на наш обзор, с благодарностью вспоминаю эти наставления. Что же касается упомянутых тетрадей ЯБ, то я, по просьбе Л. И. Пономарева, предоставил их ему для обучения его учеников, которые, в сущности, являются научными «правнуками» ЯБ.

В 1966 г. я и ЯБ были приглашены профессором Марксом в Венгрию. Для нас обоих это была первая поездка за рубеж.

ЯБ был, что называется, «в ударе». Многие не знавшие его прежде были буквально очарованы не только глубиной и широтой его познаний, но и энергией, блестящим остроумием и находчивостью в дискуссиях. В обсуждениях на Балатоне родилась наша идея о возможности получить из космологических данных ограничение на возможную суммарную массу всех типов стабильных (или квазистабильных) нейтрино.

ЯБ очень любил Венгрию и с тех пор несколько раз ее посещал. Он очень сожалел, что не попал на конференцию «Нейтрино-72», проходившую на Балатоне и собравшую много выдающихся западных физиков, в числе которых был Р. Фейнман. Мне посчастливилось в течение нескольких часов беседовать с Фейнманом. Он заинтересовался работой по сверхкритическому заряду, начатой ЯБ вместе со мной и продолженной им затем вместе с В. С. Поповым, обнаружившим у нас одну существенную ошибку. Фейнман даже записал проблему $Z > 137$ на специальную карточку, которую положил себе в карман. Он сказал, что желание встретиться с ЯБ было для него одним из побудительных мотивов приезда на конференцию.

Знакомство с ЯБ позволило мне узнать некоторые эпизоды из его жизни, об одном из которых хочу рассказать. Глядя на только вышедший в свет двухтомник трудов Ландау, ЯБ с уважением произнес: «У Дау почти нет неправильных работ». Затем, помолчав, добавил: «Однако с одной из них мы все-таки накололись». Ландау доказал, что тангенциальный разрыв при сверхзвуковом течении является устойчивым. Исходя из этого, мы с Харитоном начали экспериментировать со сверхзвуковыми струями водорода. Мы думали создать на этой основе огнеметы, способные поджигать фашистские танки. Но оказалось, что и при сверхзвуковом течении неустойчивость наступает практически так же, как и в случае дозвукового. У нас было тогда много других задач, и мы не могли позволить себе разбираться теоретически в этом вопросе. Позже его выяснил С. И. Сыроватский». Слушая рассказ ЯБ, я еще раз поразились его феноменальной способности применять результаты фундаментальной науки к прикладным задачам, и подумал о глупости и некомпетентности чиновников, запретивших работу по совместительству даже ученым ранга ЯБ (когда вышло соответствующее положение о запрете совместительства в научных учреждениях, из ИТЭФа были уволены работавшие там по совместительству Ландау и Зельдович).

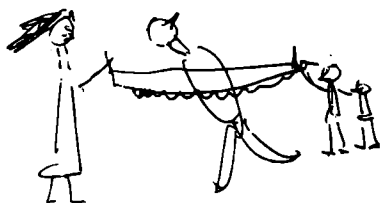
ЯБ никогда не говорил со мной о том, что он называл «спецделом». Для меня несомненно, однако, что его роль в решении атомной проблемы не исчерпывается только его личным вкладом. Думаю, неоценимое значение имела широта его научных интересов, позволявшая знать людей различных специальностей, которых можно было привлечь для решения огромного числа возникающих конкретных задач. В последние годы мне приходилось встречать людей, склонных (задним числом) скептически оценивать эту активность ЯБ. Я считаю это глубоко неправильным и несправедливым. Нельзя судить о прошлом, исходя из настроений и ситуации начала 90-х годов. Во-первых, вся эта деятельность началась во время войны, в годы смертельной опасности. Во-вторых, в послевоенное десятилетие многие люди, занятые в «проблеме» (не только ЯБ, но и И. Е. Тамм, А. Д. Сахаров), искренне полагали, что ядерное равновесие может быть единственным средством сохранить мир. Этой цели они и служили во всю меру своего таланта и сил, отдавая ей лучшие, наиболее продуктивные годы жизни. Ситуация изменилась к началу 60-х годов, когда выяснилась вся опасность милитаризации и глобального противостояния. Здесь

я вынужден снова сослаться на слова Ландау, услышанные от него осенью 1961 г. Дау рассказывал, что он, возмущенный нашими новыми ядерными испытаниями, начатыми после длительного моратория, буквально набросился на ЯБ со словами: «Это ваша фирма подбила правительство на новые испытания?» «Нет, — отвечал ему ЯБ, — нам это было не нужно. У нас были люди, выступавшие против».

С годами у меня выработалась потребность регулярно общаться с ЯБ, звонить или заезжать к нему, чтобы рассказать научные новости, посоветоваться о своей работе, узнать, чем он занимается в данный момент. Иногда ЯБ писал мне письма (он вообще легко писал — как говорил). Попадались в этих письмах его шуточные рисунки. Мне очень дороги эти письма: в них проглядывается сама личность ЯБ.

Однажды в понедельник, возвращаясь домой с лекции, я почувствовал непреодолимое желание заглянуть к ЯБ в Институт физпроблем. Встретивший меня С. И. Анисимов сказал, что ЯБ минут 20 назад уехал. «Ну, что же, заеду в следующий раз», — сказал я. Следующего раза не было. Через два дня я узнал о болезни и скоростной смерти ЯБ...

PS: Пережили!
 Вот сообщу Вам и семье,
 что вы можете поправить
 мир и жизнь и тузгун и
 не желаю этого —
 тут и конец мирскому
 сая и всемирному сая



Дорогой Саша.

Восхищаетесь Вами и завидую.
~~Вам~~ говорим, что вы все
 можете! Об этом говорю дома —
 друзьям и семье.

Жалко, что вы не можете,
 говорить за нас.

Каково было в Ереване.

6/14 в 16-17 в ТАИМ дома
 Паша (Pines) новое
 в теории квантовой физики
 — приращение, если раньше не
 считали.

В среду 28-29 октября

ЯБ и математика

Академик
В. И. Арнольд

Математический институт им. В. А. Стеклова РАН
Москва

ОБЫЧНО ЯБ звонил мне в семь утра. «Не кажется ли вам...», — говорил он, и далее следовало что-нибудь парадоксальное. Последний такой звонок был за две недели до его смерти. Он рассказал о странном, «хаотическом» поведении решений уравнений Риккати с периодическими коэффициентами. Эта (совместная с соавтором, фамилию которого я забыл) работа осталась ненаписанной, и я скажу о ней немного подробнее.

Уравнение Риккати — это дифференциальное уравнение, правая часть которого — многочлен второй степени относительно зависимой переменной. Решениям этого уравнения свойственно «убегать» на бесконечность за конечное время. При традиционном подходе в рамках обычной теории дифференциальных уравнений никакого хаоса тут быть не может. Хаос, о котором говорил ЯБ, возникает, если свернуть ось зависимой переменной в окружность, добавив одну бесконечную удаленную точку.

Периодичность коэффициентов позволяет свернуть в окружность и ось времени (ось независимой переменной). Получается динамическая система на замкнутом многообразии — на поверхности тора. Свойства таких систем изучал еще А. Пуанкаре, который обнаружил, что они сильно зависят от того, иррационально или рационально «число вращения» — средний по времени наклон траекторий. Если число вращения рационально («резонанс»), то некоторые (а для уравнения Риккати обычно все) траектории замкнуты. В иррациональном же (общем) случае траектория плотно покрывает тор и возвращается бесконечно много раз в любую окрестность начальной точки, никогда не повторяясь точно. Причем временное среднее любой функции вдоль траектории совпадает с ее средним на поверхности тора («эргодичность», т. е. первая ступень «хаоса»).

Речь шла, таким образом, о переоткрытии важного раздела современной математической теории динамических систем. Применения теории Пуанкаре к уравнению Риккати должны были бы входить в учебники, но, насколько я помню, никто из математиков их не заметил. Психологическая труд-

ность здесь — изменение топологии фазового пространства (переход от аффинной прямой к проективной) — сродни описанию решения Шварцшильда при помощи топологии черной дыры. Преодоление подобных трудностей — деятельность, по сути дела, математическая, но большинство математиков медленнее преодолевает стереотипы мышления в рамках точно поставленной задачи и неохотно идет на кардинальные изменения точки зрения.

ЯБ, напротив, всегда был готов к изменению точки зрения. Помнится, когда он первый раз позвал меня к себе на Воробьевское шоссе в начале 70-х годов и я рассказывал ему о недавних тогда достижениях теории динамических систем (непредсказуемость, хаотичность, турбулентность, странные аттракторы, инвариантные торы и т. д.), Яков Борисович некоторое время пытался упорствовать — держался за старые догмы. К счастью, я не поддался ни на запугивание авторитарным тоном, ни на ссылки на Ландау и (робко) сказал: «Но, Яков Борисович, на это можно взглянуть с другой точки зрения».

«Да?» — ответил ЯБ и немедленно сделал стойку на голове. Несколько минут он смотрел на доску, исписанную мелом, снизу вверх, потом перевернулся и стал обсуждать, на каких физических задачах следует немедленно пробовать новые математические теории.

Будучи прежде всего физиком¹, ЯБ имел о математике свое собственное представление, резко отличное от представления большинства математиков его поколения, воспитанных на аксиоматико-дедуктивной теоретико-множественной концепции, восходящей к Гильберту и Бурбаки, и от представления большинства физиков о том, что полезна в математике только аналитическая техника, своего рода продолжение

¹ «Придется вызвать вас на дуэль», — сказал мне ЯБ, когда я процитировал ему Ньютона: «Математики, которые все открывают, исследуют и доказывают, должны довольствоваться ролью сухих вычислителей и чернорабочих; другой (физик. — В. А.), который не может ничего доказать, но все схватывает на лету и на все претендует, уносит всю славу как своих предшественников, так и своих последователей».

арифметического счетного мастерства. Его точка зрения ближе к позиции более молодого поколения математиков и физиков-теоретиков (Л. Д. Фаддеев, А. М. Поляков, С. П. Новиков), для которых качественная, геометрическая, концептуальная математика сливается с теоретической физикой. Математика понятий и идей, и вовсе не одних только вычислений была его стихией.

Но и в техническом отношении некоторые его достижения предвосхищали математические исследования, иногда на десятки лет. Особенно это относится к теории особенностей, бифуркаций и катастроф — той области математики, которая описывает возникновение дискретных структур и всевозможных скачков и разрывов из плавных, гладких изменений.

Так, в его работах 1941 г. о реакциях в струе фактически построена теория бифуркаций кривой равновесия в произведении фазового пространства на ось параметра — теория рождения и умирания новых «островков» этой кривой. В современной математической теории уравнений с малым параметром эти явления изучены лишь в конце 70-х годов (в работах французских математиков по так называемому «нестандартному анализу» и «теории уток»). Когда эти работы появились, ЯБ сразу узнал в них небольшое обобщение своей старой теории. Замечательным свойством этой теории было то, что, хотя исследовалась конкретная система, заданная явными формулами, качественный характер результатов не зависел от деталей этих формул и оставался тем же для широкого класса систем «общего положения». Строгое математическое доказательство того, что системы, ведущие себя иначе, — исключение, получено математиками лишь недавно. Но сам характер явления был открыт ЯБ 50 лет назад, и универсальность его была ему, конечно, ясна.

Такая же универсальность и независимость от конкретных деталей характерна и для его объяснения крупномасштабной структуры Вселенной малыми и плавными неоднородностями первоначального поля скоростей пылевидной среды.

Возникновение особенностей на кaus-тиках впервые обнаружили в этой задаче Е. М. Лифшиц, И. М. Халатников и В. В. Судakov. Построенная ЯБ «теория блинов», в сущности, эквивалентна теории простейших (лагранжевых) особенностей в симплектической геометрии.

Эта же теория дает описание типичных особенностей кaus-тиков и их перестроек при изменении параметра в оптике. Ее математические трудности так велики, что многие

вопросы остаются до сих пор нерешенными, а достигнутые (уже в последние годы) результаты получены лишь вследствие осмысления ряда экспериментов лазерной оптики и компьютерного моделирования. Тем больше заслуга ЯБ, сразу почувствовавшего важность своей «гидродинамики Вселенной» как общематематической теории.

Переход от локально-аналитического исследования к анализу глобально-топологических и статистически-перколяционных свойств возникающих структур в работах ЯБ также не может не вызвать восхищения математиков. В этих работах скорее физика становится служанкой математики, чем наоборот.

Подобно всем математикам, ЯБ любил выделить в физической проблеме точно сформулированный математический вопрос. Он верил, что стоит точно сформулировать задачу математически — и математики, «которые умеют, как мухи, ходить по потолку», найдут решение! Особенное возмущение вызывала у него неспособность современной математики решить вопросы о вмерзшем магнитном поле минимальной энергии и о быстром магнитном динамо.

Я помню обсуждение первого вопроса во время своего доклада об асимптотическом инварианте Хопфа² на семинаре ЯБ в Институте прикладной математики (вероятно, в 1973 г.): ЯБ и А. Д. Сахаров наперебой, размахивая руками, объясняли, как зацепленность силовых линий не позволяет уменьшить до нуля энергию вмерзшего поля.

Математически вопрос ЯБ ставился так: среди всех полей дивергенции нуль на трехмерном многообразии, получаемых из данного сохраняющими элементами объема преобразованиями, найти поле с минимальным интегралом квадрата (это минимизирующее поле может иметь особенности).

Эта задача, не решенная и сегодня, моделирует вопрос об эволюции магнитного поля звезды в пренебрежении магнитной вязкостью. Предполагается, что, пока энергия не минимальна, поле будет порождать силу Лоренца, которая, двигая среду, обеспечит рассеяние избыточной энергии за счет гидродинамической вязкости, пока среда не остановится, а поле не минимизируется.

ЯБ и АД утверждали, что, например,

² Связь этого предмета с аномалиями квантовой теории поля и многозначным действием Полякова в то время не была, конечно, известна; ее обнаружил С. П. Новиков лишь через 10 лет.

энергию аксиально-симметричного поля в шаре (зацепление отсутствует) можно сделать сколь угодно малой, выбрав подходящее преобразование (это, кажется, и сегодня аккуратно не доказано). Вопрос о топологии минимизирующего поля в общем случае — также нерешенная, насколько я знаю, задача (даже в простейшей двумерной модели).

Другая точно представленная ЯБ задача — о быстром стационарном кинематическом динамо.

Теория этих явлений не разработана, а численный эксперимент требует вычисления собственных чисел матриц, порядок которых много больше миллиона, и пока кажется практически неосуществимым.

ЯБ считал надежно установленным существование периодического по времени быстрого кинематического магнитного динамо. Насколько мне известно, эта теорема ЯБ современной математикой еще не «переварена».

В последнее десятилетие жизни ЯБ имел счастье довольно много с ним работать. Чаще всего мне предоставлялась роль слушателя или читателя (обычный размер писем ЯБ — восемь страниц, по письму в неделю).

«Вы можете выбросить это письмо, не читая. Дело в том, что писание Вам для меня стало психотерапевтическим актом, способом проверить себя, уяснить что-то до конца. Я пишу — и вижу Ваш скептический взгляд («глаза майора Пронина»), и рука не поворачивается написать сомнительное... Много ли Вам пишут психи? Мне — очень часто.

Итак, то, что мы знаем относительно особенностей, это верно, но это — локально. Между тем есть некоторые глобальные свойства системы, которые...»

«Кажется, Дубровский писал Маше Троекуровой: «Сладкая привычка обращаться к Вам ежедневно, не ожидая ответа на письма, стала для меня законом» (в период, когда они общались через дупло).

Итак, насколько я знаю, заметка...»

Одним из последних совместных наших мероприятий было комментирование «трудов» ЯБ. «Пишу, — позвонил мне ЯБ, — некрологическое сочинение. Грустно, конечно, но нужно, по-моему. Как сказал О. Уайльд, «у каждого есть ученики, но биографию непременно пишет Иуда». Пожалуйста, напишите о математике».

Перечитав тогда «Высшую математику для начинающих», я увидел, как много из того, что математики моего поколения (с трудом и преодолевая огромное сопротивление) пытаются внести в выхолощенное и омертвевшее преподавание нашей науки,

уже содержалось в первом же издании учебника ЯБ.

Книга начиналась с эпатазирующего определения производной как отношения приращений «в предположении, что они достаточно малы». Это кощунственное, с точки зрения ортодоксальной математики, определение «физически», конечно, совершенно оправданно, ибо приращения физической величины меньше, чем, скажем, 10^{-100} , являются чистой фикцией — структура пространства и времени в таких масштабах может оказаться весьма далекой от математического континуума.

Но это простое соображение уничтожает столь значительную часть современных математических исследований, что упоминать о нем даже здесь опасно. Тогдашние цензоры математических книг, тополог Л. С. Понтрягин и механик Л. И. Седов, обрушили на ЯБ поток обвинений, которые ЯБ (с его несколько мальчишеским честолюбием) переживал более болезненно, чем они того заслуживали. Я думаю, что борьба с этими (непонятно, почему столь могущественными) цензорами и со сплоченной группой их малокомпетентных союзников за переиздание очевидно необходимой книги, борьба, которую ЯБ вел, как всегда, с полным напряжением сил и перипетии которой он переживал очень эмоционально, сократила ему жизнь.

Закончилась эта борьба полной победой ЯБ. Понтрягин в своем изложении анализа для школьников (издание 1980 г.) пишет: «Многие физики считают, что так называемое строгое определение производных и интегралов не нужно для хорошего понимания дифференциального и интегрального исчисления. Я разделяю их точку зрения»

Возвращение преподавания математики от схоластики формально-языковых вычислительных упражнений к содержательной математике идей и понятий Ньютона, Римана и Пуанкаре — шаг абсолютно необходимый. ЯБ был первым, кто нашел мужество открыто об этом сказать и вовремя это осуществить.

Время ЯБ всегда было расписано по минутам. Плутарх пишет, что Фемистокл назначал всем своим клиентам одно и то же время, чтобы каждый из них, увидев остальных и ожидая своей очереди, проникался ощущением значительности патрона. ЯБ, напротив, назначал каждому свое время, но зато не мог затянуть разговор ни на минуту. Привыкнув к унижающим человеческое достоинство манерам, обычным среди математиков, особенно по отношению к млад-

шим³, я был приятно удивлен корректностью и своеобразной деликатностью ЯБ, явно противоречившей его естественному буйному темпераменту; «Ты, Зин, на грубость нарываешься», — было у него выражением крайнего гнева. ЯБ, хоть и называл себя учеником Ландау, следовал ему не во всем.

³ Я приписывал эти манеры влиянию на математиков Л. Д. Ландау, пока не узнал, что не имеющий с Ландау ничего общего академик — председатель ученого совета математиков, переврав фамилию оппонента во время защиты диссертации, оправдывался со словами: «Ну, ничего, не велика птица».

Готовя комментарии к трудам ЯБ, я заглянул в «Science Citation Index» и нашел, помнится, около 7 тыс. ссылок на его работы за год (второе, кажется, место среди наших ученых после Ландау). Если учесть, что «Index» приписывает все совместные работы первому по алфавиту автору и что латинское написание фамилии ЯБ начинается с Z, истинное число ссылок значительно вырастет. Не знаю, сколько ссылок на него сейчас, но ясно, что влияние ЯБ и на физику, и на математику остается совершенно исключительным.

Десять лет общения

А. Д. Долгов,

доктор физико-математических наук

Институт экспериментальной и теоретической физики
Москва

НАЧАЛО декабря 1987 г. Ясный солнечный день. Легкий морозец. Погода как нельзя лучше способствует хорошему настроению. Я иду из гостиницы в Протвине на семинар в Институт физики высоких энергий с докладом о взаимоотношениях между физикой частиц и космологией. И вдруг — на доске объявлений рядом с конференц-залом написанный от руки небольшой листок: «Умер Яков Борисович Зельдович». Я перечитываю его несколько раз с ощущением, что перестал понимать родной язык. Вспоминаю, как неделю назад мы встретились, горячо обсуждали космологические проблемы, говорили о будущей работе. ЯБ был, как обычно, активен, энергичен и, казалось, полон сил.

Я не помню, как провел семинар, начавшийся минутой молчания, помню только, что мне помогало то священное уважение к Семинару, которому всегда учил Яков Борисович.

Один случай был особенно поучителен для меня. Несколько лет назад я должен был выступать на семинаре Зельдовича в ГАИШе. За день до семинара я простудился и, позвонив Якову Борисовичу вечером домой, спросил, нельзя ли перенести доклад на следующее заседание. В трубке возникло молчание, а затем последовал вежливый вопрос, не нахожусь ли я на смертном одре. Когда я ответил отрицательно, ЯБ сказал таким ледяным тоном, которого я никогда ни раньше, ни потом от него не

слышал: «Тогда я не понимаю, почему вы мне звоните». Затем он немного отошел и произнес яркую речь о том, что молодежь теряет уважение к Вечным Ценностям и происходит ужасное падение нравов, с которым необходимо бороться, иначе общество погибнет. После этого я, конечно, не мог даже заикнуться, чтобы перенести выступление. С такой же, если не с большей, требовательностью относился Яков Борисович и к самому себе. Тогда я еще не знал, как этот разговор перекликнется с его собственной судьбой...

Когда я вернулся в Москву из Протвины, мне рассказали, что Яков Борисович утром 2 декабря почувствовал себя нехорошо и зашел к врачу, который осмотрел его и посоветовал лечь в больницу для более глубокого обследования и лечения. «Не могу», — последовал ответ, — у меня сегодня доклад на семинаре». Для любого человека (от студента до многоопытного профессора) доклад — всегда нагрузка, нервное напряжение. Не знаю, насколько повлияло это на Якова Борисовича, но вечером того же дня ему стало резко хуже. Врачи говорили, что сделать ничего нельзя.

С Зельдовичем меня познакомил Лев Борисович Окунь в 1976 г. У Якова Борисовича были вопросы о взаимодействии лептонов в тогда еще относительно новой объединенной теории электрослабого взаимодействия. В результате обсуждений возникла наша совместная с ним и М. И. Высоцким



На приеме у папы римского Иоанна Павла II вместе с Р. Руффини. Рим, 1985 г.

работа о космологическом нижнем пределе на массу нейтрального стабильного лептона¹, положившая начало нашему близкому десятилетнему общению.

Под влиянием Якова Борисовича я стал заниматься космологией. Мое знакомство с этой увлекательной областью началось с написания нашего совместного обзора «Космология и частицы», в полном соответствии со стимулирующим кредо ЯБ: «Чтобы изучить какую-либо новую область науки, надо написать по ней обзор». Он удивительно точно чувствовал важность того или иного научного направления, с энтузиазмом принимал участие в его разработке, руководству-

ясь, как мне кажется, живым, каким-то детским интересом к тому новому, что возникало перед ним. ЯБ никоим образом не переоценил важность симбиоза космологии и физики элементарных частиц. Благодаря ему возникла новая научная область, в большой степени базирующаяся на работах и идеях Зельдовича, и сейчас ни одна значительная конференция по физике частиц не обходится без космологической секции.

Вспоминая о нашей совместной работе, не могу не сказать, насколько его стиль был непохож на известный стереотип мэтра-академика, паразитирующего на трудах своих учеников². Иногда даже казалось, что ситуация прямо обратная, и мне приходилось отбиваться от того, чтобы признать себя соавтором статьи, мое участие в которой ограничивалось лишь незначительными обсуждениями. В других случаях, когда я приходил к ЯБ со своей, иногда очень сырой, идеей, которая обретала плоть и кровь в

¹ Это ограничение в западной литературе носит название предела Ли—Вайнберга по имени авторов работы, появившейся одновременно с нашей. Это вполне можно понять. Но мне совершенно непонятно, почему на западе практически не употребляется термин «ограничение Герштейна—Зельдовича» для массы нейтрино, несмотря на то, что оно было получено еще в 1966 г. и все другие космологические ограничения на массы частиц получаются фактически на основе рассуждений этой работы.

² Впрочем надо признаться что с паразитирующими мэтрами я встречался лишь в художественной литературе и газетной периодике и не знаю, просто ли мне везло в жизни или, скорее, это общая ситуация в настоящей науке.



Спортлагерь Института космических исследований на Волге. 1973 г.

результате иной раз бурных дискуссий, он всегда категорически вычеркивал свою фамилию, если ему казалось, что его роль в работе не основная. Мне кажется, это результат богатства физическими идеями, которые он непрерывно генерировал на протяжении всей жизни, и большой душевной щедрости.

Поражало редкое сочетание широты и глубины его знаний. Он мог при обсуждении вопросов физики элементарных частиц непринужденно воспользоваться аналогией с тонкими эффектами из теории горения или статистической физики. При этом он непрерывно учился чему-то новому, изучая оригинальные статьи и обсуждая интересующие его вопросы с теми, кого он считал специалистами в данной области. Каждое такое обсуждение было непростым испытанием для его участников. У ЯБ был часто свой собственный, неожиданный взгляд на проблему, открывающий ее с новой стороны, и вести дискуссию «на его территории» было непросто. Но полученная польза с лихвой окупала все трудности. По поводу его энциклопедизма хорошо сказал, приехав в Москву, кажется, С. Хокинг: «Я думал, что Зельдович — это большая группа советских физиков, наподобие Бурбаки».

Удивительным качеством ЯБ, которое, наверное, помогло ему так долго и плодотворно работать, была постоянная душевная молодость, я бы даже сказал, мальчишество. Благодаря этому с ним всегда было легко говорить на любые темы, несмотря на значительную разницу в возрасте и положении. В памяти оживает ряд эпизодов. Мы идем к нему домой по довольно крутой лестнице. ЯБ останавливается и вдруг вспрыгивает на пятую ступеньку. Вызывающе смотрит — смогу ли я прыгнуть выше. Неприятно проиграть при 30-летней разнице в возрасте. Я поднатуживаюсь и кое-как заскакиваю на шестую. ЯБ мрачнеет, некоторое время молчит, потом торжествующе поворачивается ко мне: «А мой внук прыгает еще выше!» Мир восстановлен.

Как мальчишка, ЯБ очень не любил проигрывать. Но и проигрывать ему нарочно было нельзя. Помню наши теннисные встречи. В перекидке ЯБ мог похвалить хороший удар соперника, но как только начиналась игра на счет, все было подчинено одной задаче — выиграть. В случае, если игра не шла и шансов на выигрыш не было, ЯБ бросал коротко «К черту!» и отказывался вести счет. Нужно было время и несколько удачных ударов, чтобы к нему вернулось обычное хорошее расположение духа.

Другой эпизод, говорящий о его неистребимом мальчишестве. Мы обсуждали роль флуктуаций плотности в процессе возникновения барионной асимметрии Вселенной. Как-то вечером мне показалось, что я нашел решение одной из возникших тогда проблем, и я немедленно позвонил ЯБ. Излагая свои аргументы, я понял, что он меня не слушает. Действительно, скоро он перебил меня словами: «Лучше включите телевизор — там сейчас меня показывают». Узнав, что я на работе, он был глубоко и искренне расстроен. Впрочем, как я узнал на следующий день, он уже нашел решение проблемы и, пожалуй, более удачное, чем я.

Вообще, умение отключаться, если вопрос его не интересовал, у ЯБ было фантастическим. Он мог на минутку (как мне кажется, умышленно) заснуть во время разговора, так что собеседник это или не сразу, или вообще не замечал, — проснувшись, когда собеседник замолкал, — перевести разговор на другую тему. Когда я впервые с этим столкнулся, то очень расстроился, но потом подумал, а может, что-то неверно в моих рассуждениях. Как правило, так и оказывалось. Но иногда мне удавалось преодолеть пассивное, а порой и активное сопротивление ЯБ. Результаты этих баталий

нередко позволяли мне самому намного лучше понять собственную работу.

В случае, когда ЯБ был заинтересован какой-то проблемой, его работоспособность казалась безграничной. Однажды в одиннадцатом часу вечера у дверей моего дома раздается звонок. Открыв дверь, я вижу курьера с телеграммой: «Немедленно позвоните мне. Зельдович». Я знал, что ЯБ рано ложится спать, так как очень рано встает. Но делать было нечего. Пришлось выйти на улицу (у меня не было телефона) и позвонить. ЯБ бодрствовал, и мы чуть ли не до полуночи говорили о кинетике процессов в ранней Вселенной. Признаюсь, в тот момент меня больше поразила скорость, с которой была доставлена телеграмма: ЯБ отправил ее по телефону, и она была доставлена менее чем за час. Другой случай. Я был простужен и вознамерился слегка побездельничать дома, тем более что никакого выступления на этот раз не предстояло. Когда ЯБ узнал об этом, он немедленно приехал ко мне, и моему безделью пришел конец. Больше я болеть не «решался».

Когда мне наконец поставили телефон, общение стало проще, и я вспоминаю наши долгие утренние разговоры. К счастью, я вставал тоже рано, и это мне давалось легко. К тому же ЯБ звонил уже не в шесть утра (о чем рассказывали люди, знакомые с ним раньше), а всего лишь в семь. Когда я узнал о смерти Якова Борисовича, первая мысль, пронизывая меня, была о наших утренних, в это время уже не столь частых, разговорах. Дело даже не в той огромной научной пользе, которую я извлекал из них, а в том морально-эмоциональном влиянии, которое они оказывали. (Боюсь, яснее я выразиться не смогу.)

Вспоминаю историю написания нашего обзора в журнале «Природа» о барионной асимметрии Вселенной. Это был 1981 год (статья вышла в августе 1982-го), и содержащуюся в обзоре ссылку на А. Д. Сахарова цензура выкинула на том основании, что в популярном издании с тиражом около 80 тыс. экземпляров упоминать это имя с похвалой не следует. (Правда, в научных трудах ссылки на Сахарова были дозволены.) Печатать статью без этой ссылки мы отказались³. Последовала долгая борьба. И только с помощью А. П. Александрова (тогдашнего

президента Академии наук СССР), к которому настойчиво обращался Зельдович, был достигнут компромисс: мы убираем список рекомендуемой литературы в конце статьи, а все ссылки даем в виде подстрочных примечаний. В таком виде статья и вышла.

У Якова Борисовича было поражавшее меня сочетание дисциплины и стремление, что ли, созорничать. Два примера могут это проиллюстрировать. Я, да и другие, более молодые, чем ЯБ, физики неоднократно пытались выяснить у него какие-нибудь подробности, касающиеся его работы над атомной бомбой. Иной раз это было в очень свободной атмосфере, скажем, за ужином с рюмкой коньяка. Но как только разговор заходил об этих вопросах, как будто кто-то переключал рубильник — ЯБ сразу замыкался и что-то вытянуть из него было невозможно. Другой пример. ЯБ рассказывал, как выступал перед избирателями где-то в начале 80-х годов, в связи с выдвижением А. П. Александрова в Верховный Совет. В своей речи он, по его словам, допустил оговорку: «Александров стал государственным деятелем, но остался человеком». Но по лукавому выражению ЯБ было видно, что эта оговорка не случайна.

Не могу не вспомнить о любви Якова Борисовича к стихам. Он хорошо знал и часто цитировал очень разных поэтов, но, мне кажется, больше других любил Пастернака. С его помощью он оказался победителем в одном нашем споре, когда я настаивал на том, что в популярной статье для «Природы» формулы усложняют изложение и сделают его малоприятным. ЯБ разбил меня прекрасной, хотя и слегка искаженной, цитатой из Пастернака:

«Хоть людям простота нужнее,
Но сложное понятней им».

Наши разговоры с ЯБ не ограничивались, конечно, только физикой. Он много и хорошо рассказывал о людях, с которыми встречался в жизни. Не мне воспроизводить эти рассказы, тем более что многое уже стерлось в памяти. Ряд этих историй (но далеко не все) можно найти в опубликованных воспоминаниях ЯБ о его, увы, умерших друзьях. Мне хочется лишь упомянуть о нашем кратком разговоре о П. Л. Капице, к которому ЯБ относился с глубочайшим уважением. В то время Капице было почти 90 лет, и я спросил, как он может работать в таком возрасте. ЯБ ответил, что, пожалуй, на ученых советах он иной раз и засыпает, но в лабораторию бежит вприпрыжку и, помолчав, добавил: «Наверное, потому, что всегда жил достойно».

³ В этой связи вспоминаются слова, кажется, Ф. Г. Раневской, которая на вопрос, почему она не снимается в новых фильмах, ответила: «Гонорары проедаются, а позор остается».

Космические исследования

Запуски космических аппаратов: сентябрь — октябрь 1991 г.

В этот период было запущено 15 космических аппаратов, в том числе 10 спутников серии «Космос».

Транспортный корабль «Союз ТМ-13» доставил на орбитальный научно-исследователь-

материаловедению, в частности получения в условиях микрогравитации кристаллов белков и полупроводниковых материалов с улучшенными свойствами, а также отработки технологии их промышленного производства. Часть аппаратуры разработана специалистами Германии и Франции в рамках коммерческого соглашения.

Все космические аппараты запущены ракетами-носителями «Космос», «Союз», «Молния» и «Протон».

Таблица

Космический аппарат	Дата запуска	Параметры начальной орбиты			
		перигей, км	апогей, км	накло- не, град	период об- ращения, мин
«Космос-2155»	12.IX	35 850	35 850	1,3	1436
«Молния-3»	17.IX	454	40 859	62,7	737
«Космос-2156»	19.IX	176	369	68,1	89,6
«Космос-2157—2162»*	28.IX	1401	1438	82,6	114
«Союз ТМ-13»**	2.X	276	312	51,6	90,2
«Фотон»	4.X	223	417	62,8	90,6
«Космос-2163»	9.X	174	331	64,8	89,2
«Космос-2164»	10.X	290	720	74	94,5
«Прогресс М-10»	17.X	190	245	51,6	88,6
«Горизонт»	23.X	36 003	36 003	1,4	1447

* Шесть спутников «Космос-2157—2162» запущены одной ракетой-носителем.

** Параметры орбиты после двухимпульсного маневра дальнего сближения.

ский комплекс «Мир» космонавтов А. А. Волкова, Т. О. Аубакирова и Ф. Фибека (Австрия), а автоматический грузовой корабль «Прогресс М-10» — аппаратуру, оборудование и расходные материалы.

Спутник связи «Горизонт» выведен на близкую к стационарной круговую орбиту для развития систем связи и телевизионного вещания, «Молния-3» — для эксплуатации системы дальней телефонно-телеграфной радиосвязи и передачи программ Центрального телевидения на пункты сети «Орбита» и в рамках международного сотрудничества.

Аппаратура спутника «Фотон» предназначена для исследований по космическому

Космические исследования

Эксперимент «Биосфера-2»

26 сентября 1991 г. восемь «бионавтов» (четыре женщины и четыре мужчины) из США, Великобритании и Бельгии приступили к необычному эксперименту «Биосфера-2». Два года они проведут в биологически замкнутой системе площадью почти 13 тыс. м², где будут воспроизводиться основные земные процессы, необходимые для под-

держания жизни. Изолированная от внешней среды биолaborатория находится в местечке Орэккл (штат Аризона), в пустынном и жарком районе на юго-западе США.

Успех эксперимента докажет реальность проектов освоения человеком других планет и способность жить там длительное время. В течение двух лет бионавты будут питаться продуктами, выращенными в лаборатории, пить воду и дышать воздухом, полученным в результате многократной регенерации в искусственной микробиосфере. Под стеклянными сводами лаборатории разместились тропические джунгли с водопадом, саванна, пустыня, миниокеан с коралловыми рифами, соленой водой и настоящими волнами, а также пресные водоемы, в которых водятся рыбы. Среди 3800 видов растений — бананы, орехи, пшеница, картофель, здесь можно увидеть не только свиней или коз, но и колибри, бабочек.

Возраст участников эксперимента от 27 до 67 лет; только серьезная болезнь или крупная катастрофа может прервать их добровольное затворничество. Каждый около 4 час. в день занимается сельскохозяйственными или другими работами по поддержанию жизнедеятельности лаборатории. Еще 4 час. отводятся научным опытам.

Проект «Биосфера-2» разработан частной организацией «Спейс байосферс венчерз». Его общая стоимость оценивается в 150 млн. долл., финансируется он за счет частных капиталовложений, главным спонсором выступает техасский миллиардер Э. Басс. Несмотря на большие затраты, уже в ближайшее время предполагается получить ощутимые прибыли, поскольку, по расчетам, «Биосфера-2» должна привлечь туристов (0,5 млн.).

Уже через две недели после начала эксперимента возникли сложности: 29-летняя англичанка Дж. Пойнтер, руководитель сельскохозяйственных ра-

¹О подготовке и начальных этапах этого эксперимента см.: Вторая биосфера // Природа. 1990. № 2. С. 113—115.

бот, 10 октября во время обработки риса на лушлильной машине серьезно повредила палец. Врач, член экипажа, оказал ей первую помощь и ампутировал верхнюю часть пальца, но затем решил, что для спасения пальца необходимо вмешательство опытного хирурга. После этого Пойнтер эвакуировали через специальный шлюз и госпитализировали. Вероятно, ее отсутствие будет недолгим. На ходе эксперимента это не отразится, поскольку возможность подобных «нештатных» ситуаций предусмотрена заранее.

Космические исследования

Полет советско-австрийского экипажа

2 октября 1991 г. в 7 час. 59 мин. 38 сек. московского времени с космодрома Байконур стартовал космический корабль «Союз ТМ-13» с экипажем в составе: командир корабля летчик-космонавт А. А. Волков, Т. О. Аубакиров и гражданин Австрийской Республики Франц Фибек. 4 октября «Союз ТМ-13» состыковался с орбитальным комплексом «Мир»; космонавты перешли на борт станции и совместно с экипажем девятой длительной экспедиции (А. П. Арцебарским и С. К. Крикалевым) приступили к выполнению программы полета.

Согласно проекту «Аустромир», австрийский космонавт в течение недели вел эксперименты и исследования, подготовленные советскими и австрийскими учеными. В эксперименте «Монимир» исследовались осязательные и установочные рефлексы человека в невесомости для разработки автоматизированной системы неврологических измерений, а в эксперименте «Мотомир» анализировались моторные функции человека при определенных движениях в невесомости.

Австрийский космонавт выполнил, в частности, эксперименты «Оптоверт» (взаимодействие сенсорных систем человека в космическом полете при оптокинестической стимуляции), «Аудимир» (влияние невесомости на точность локализации

источника звука, а также согласование пространственного слуха с системой равновесия человека), «Пульстранс» (динамика пульсовой волны и ритма сердца при изменении положения руки и изометрическом напряжении).

Ведя наблюдения с помощью комплекса приборов (фотоаппарата МКФ-6МА, многоканальных спектрорадиометров «Фаза» и МКС-М2, телевизионной аппаратуры), Фибек участвовал в эксперименте «ФЕМ» по дистанционному зондированию Земли. Осуществлялись многоуровневые измерения пространственных спектротометрических и спектротометрических характеристик земной атмосферы и территории Австрии для отработки методов дистанционного зондирования. Одновременно проводились наземные измерения и фотосъемки с борта самолета. Полученная в эксперименте информация позволит совершенствовать имеющуюся модель атмосферы, создавать улучшенные карты на основе анализа космических снимков с учетом модели местности.

В эксперименте «Мигмас» была предпринята попытка создания аппаратуры для микроанализа материалов непосредственно на борту «Мира». Использование такой аппаратуры сократило бы количество возвращаемого на Землю груза и повысило оперативность обработки результатов. Эксперимент проводился в два этапа. Вначале исследовались условия получения пучка ионов, сканирующего образец, и измерялись параметры поглощенного в образце ионного потока. Затем велась масс-спектрометрия различных материалов, экспонированных в открытом космосе.

В технологическом эксперименте «Логиион» выбиралась оптимальная конструкция жидкометаллического ионного источника в устройствах для снятия электростатических зарядов на рабочих поверхностях космических аппаратов.

В ходе полета международный экипаж выполнил также программы экспериментов по медицине, геофизике, биотехнологии и материаловедению, разработанные АН Казахстана или при ее участии.

10 октября в 6 час. 12 мин. по московскому времени, завершив запланированные исследования, А. П. Арцебарский, Т. О. Аубакиров и Ф. Фибек возвратились на Землю в спускаемом аппарате «Союза ТМ-12», совершившем посадку в 67 км юго-восточнее г. Аркалыка. Длительность полета Ф. Фибека и Т. Аубакирова составила 7 сут 22 час. 12 мин.

Одновременно завершилась девятая длительная экспедиция на «Мире», продолжавшаяся 144 сут. На орбитальном комплексе «Мир» для выполнения программы 10-й длительной экспедиции остались С. К. Крикалев и А. А. Волков.

С. А. Никитин
Москва

Планетология

«Корона» Венеры

В июне 1991 г. американская автоматическая межпланетная станция «Магеллан» завершила первый цикл радиолокационного картирования, охвативший 84 % поверхности Венеры.

На одном из снимков изображена «корона» — кольцевая структура поперечником около 200 км. Такие образования диаметром от 100 до 2000 км возникают там, где на поверхность выходит мантийная струя — поток разогретой материи из жидкой мантии, лежащей под корой планеты. Блинообразный купол над «коронной» сложен, видимо, вязкой лавой. Явление известно и на Земле.

Вообще же, вулканические структуры Венеры существенно отличаются от встречаемых на нашей планете, а их языки простираются на 300 и даже 500 км от источника. Таким образом, Венера позволяет «взглянуть» в удаленное прошлое Земли, когда, согласно представлениям многих специалистов, на ней также происходили вулканические извержения гигантских масштабов.

Все еще неясно, происходят ли на Венере (как и на Земле) движения континентальных массивов коры друг относительно

но друга. Полученные снимки говорят о сравнительно небольших масштабах этих процессов. Поскольку температуры на Венере значительно превышают земные, плиты, которые на Земле были бы «жесткими», на Венере должны быть гораздо пластичнее.

Руководит радарным картированием Венеры С. Саундерс (S. Saunders; НАСА).

New Scientist. 1991. V. 130. N 1773. P. 24 (Великобритания).

Планетология

Планеты «радируют» на Солнце

Солнечный ветер, распространяясь со сверхзвуковыми скоростями, сталкивается с магнитными полями планет. В результате на их поверхностях, обращенных к Солнцу, возникает ударная волна, генерирующая радиоволны, которые устремляются в обратном направлении — к Солнцу.

Магнитные поля Земли и Меркурия создаются естественной «динамо-машиной», сердечником которой служит вращающееся металлическое ядро. Слабое магнитное поле Венеры возникает при столкновении солнечного ветра с верхней атмосферой планеты.

Однако, несмотря на различия как в размерах планет, так и в происхождении и интенсивности их магнитных полей, сила радиосигналов, направленных к Солнцу, почти одинакова и определяется шириной фронта дугообразной ударной волны у планеты.

Группа К. Расселла (C. T. Russell; Университет штата Калифорния, Лос-Анджелес, США) провела повторный анализ спутниковых данных, полученных более 10 лет назад. Вот его результаты. Ширина фронта ударной волны у Земли примерно в 10 раз превышает диаметр планеты. Меркурий примерно наполовину меньше, его магнитное поле также значительно слабее, и ширина фронта его ударной волны составляет лишь 5 % земной. Венера, хотя и почти равна по разме-

рам Земле, за счет гораздо более слабого магнитного поля создает ударную волну шириной примерно 10 % земной.

Радиоволны от этих источников обладают тем не менее многими общими характеристиками. Так, они отличаются крайне низкой частотой (от 1 до 3 Гц), испускаются почти под одним и тем же углом; их амплитуды, уменьшающиеся с расстоянием, сравнимы (при измерении на примерно одинаковом расстоянии от источника).

До сих пор было неясно, какой тип частиц солнечного ветра порождает радиоизлучение — отрицательно заряженные электроны или, например, положительные протоны.

Прежние данные чаще всего указывали, что ионы солнечного ветра распространяются по «левосторонней» спирали, навиваясь на силовые линии магнитного поля планеты. Это говорило о том, что ионы несут положительный заряд.

Исследования Расселла приводят к выводу о том, что спиральное движение лишь казалось «левосторонним» из-за собственного перемещения космического аппарата относительно солнечного ветра. На самом деле оно «правостороннее». Итак, видимо, радиоволны генерируются электронами.

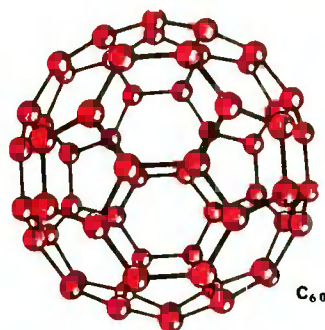
Science News. 1991. V. 139. N 4. P. 63 (США).

Физика

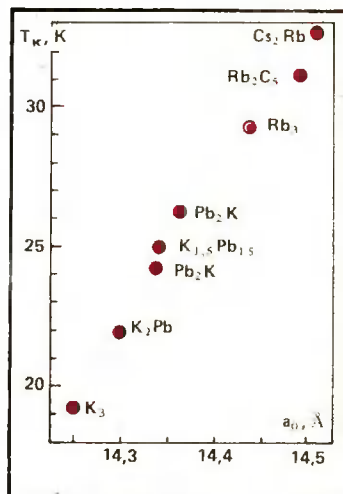
«Потепление» сверхпроводящего перехода в фуллеритах

Несмотря на то, что только осенью прошлого года был найден метод приготовления в больших количествах похожих на футбольный мяч молекул C_{60} , состоящих из 60 атомов углерода, изготовленные из них материалы уже приподнесли ряд сюрпризов. Дело в том, что чистый кристалл C_{60} (фуллерит) — диэлектрик, как и другие модификации углерода (графит, алмаз). Ожидалось, что если внедрить в решетку фуллеритов

↑ Сверхпроводящие свойства углерода // Природа. 1991. № 12. 103.



Молекулярный стабильный кластер C_{60} в виде пустотелого усеченного икосаэдра, каждую вершину которого занимает атом углерода. Его называют фуллереном в честь архитектора Б. Фуллера, первым предложившего архитектурные конструкции подобного типа.



Изменение температуры сверхпроводящего перехода T_K в зависимости от параметра гранцентрированной решетки a_0 для фуллеритов различного состава.

атомы щелочных металлов (по аналогии с графитом), должна возникнуть слабая проводимость, а при низких температурах — и сверхпроводимость, поскольку графит с включениями калия обладает температурой сверхпроводящего перехода $T_K = 0.53$ К. Поэтому подлинной сенсацией стало открытие высокотемпературной сверхпроводимости в фуллеритах с внедренными щелочными металлами. Первый шаг был сделан группой А. Хебарда (A. Hebard;

Лаборатория Белла, Нью-Джерси, США), которая в феврале изготовила проводящие пленки C_{60} с внедренными атомами Li, K, Rb, Cs. Эта же группа в апреле впервые наблюдала сверхпроводящий переход в K_3C_{60} при $T_k=18$ К, существенно превышавшей T_k для известных молекулярных сверхпроводников. В мае поступило сообщение о новом рекорде — в пленке фуллерита с рубидием электрическое сопротивление не регистрируется уже при 28 К. В июле пал и этот рекорд: американская и японская группы независимо сообщили о новой серии ВТСП-материалов на основе фуллерита и соединений типа $(CsM)_3$, где $M=Hg, Ti, Bi$, а также $RbCs$ с максимальной $T_k=33$ К (для $RbCs_2C_{60}$). В августе на конференции по фуллеритам в США специалисты фирмы «Элайд сигнал» (Филадельфия, США) рассказали о регистрации $T_k=44$ К в материале $Rb_{3-x}Ti_xC_{60}$.

В первых исследуемых образцах сверхпроводимости обладала малая часть материала — около 1 %; теперь, за счет усовершенствования технологии изготовления образцов, рабочий объем доведен до 60 % объема поликристалла. Это открыло путь для широких физических исследований фуллеритных сверхпроводников. Так, удалось измерить температурную зависимость нижнего и верхнего критических магнитных полей в K_3C_{60} : по оценкам специалистов, последнее равно 50 кЭ при $T=0$; глубина проникновения магнитного поля в вещество составляет 240 нм. Сделаны первые шаги по выяснению соответствия между структурой и сверхпроводящими свойствами таких систем; изготовлены изоструктурные сверхпроводники с гранцентрированной кубической решеткой состава A_3C_{60} (A — щелочные металлы), в которых T_k увеличивается монотонно с ростом элементарной ячейки. Эту зависимость связывают с ростом на поверхности Ферми плотности носителей тока, изменение которой на 10 % (согласно теории Бардина — Купера — Шриффера) дает получаемое в эксперименте изменение T_k .

В последнее время методом туннельной микроскопии в Rb_3C_{60} зарегистрирована ши-

рина сверхпроводящей энергетической щели $\Delta=6,6\pm 0,4$ мэВ при $T=4,2$ К. В результате соотношение $2\Delta/k_B T_k=5,3$, что существенно больше значения 3,53, предсказываемого БКШ-теорией, предполагающей слабую связь куперовских пар. Судя по всему, речь идет о сильной связи куперовских пар, что приближает новые фуллеритные сверхпроводники по физическим свойствам к известным ВТСП-оксидам и оставляет открытым вопрос о характере сверхпроводимости в них.

По материалам: Nature. 1991. V. 350. P. 320—322, 608—601; V. 352. P. 222—223, 223—225; 787—788 (Великобритания); Physical Review Letters. 1991. V. 66. P. 2830—2832; V. 67. P. 271—274 (США); Science. 1991. V. 252. P. 1154—1157 (США).

Биохимия

Как вирусы проникают в клетку

Слияние мембран является обязательным этапом проникновения вирусов в клетку. Этот процесс осуществляют белки оболочки вирусов. Один из них — белок слияния — претерпевает рН-индуцированные перестройки структуры, в результате которых на поверхности белка оказывается гидрофобный участок аминокислотной последовательности, получивший название «пептид слияния» (ПС). Именно он непосредственно взаимодействует с мембраной-мишенью, вызывая ее слияние с липидной оболочкой вируса. Механизм этого процесса пока неизвестен.

ПС локализуется в вирусных белках по-разному: у одних вирусов он расположен на конце полипептида и часто скрыт в глобуле белка, у других — найдены лишь внутримолекулярные гидрофобные последовательности.

Ученые из Института биорганической химии им. М. М. Шемякина РАН (Москва), Всесоюзного кардиологического научного центра АМН (Москва) и НИИ эпидемиологии и микробиологии Минздрава Беларуси (Минск) предсказали локализацию ПС ядре вируса на белке GP 2, используя

компьютерный анализ аминокислотных последовательностей поверхностных белков этих вирусов. Пептид характеризуется высокой степенью спирализации и значительной гидрофобностью, состоит из 23 аминокислот, расположен в непосредственной близости от N-конца белка и, согласно компьютерному предсказанию, находится внутри белковой глобулы.

Пептид синтезировали, и его «сливающую» активность исследовали на модели малых однослойных липосом, используя метод резонансного переноса энергии между двумя флуоресцентными производными липида — донором и акцептором. ПС выявил активность в широком диапазоне соотношений концентраций липида и пептида.

Выявление природных агентов, способных сливать мембраны, и выяснение механизма их действия будет не только способствовать изучению этого процесса, но и в перспективе делает возможным его блокирование для предотвращения вирусной инфекции.

Биохимия. 1991. Т. 56. Вып. 4. С. 579—588.

Биохимия

Имитаторы антител

М. Грин и Х. Сагавори (М. Green, H. Sagarovi; Пенсильванский университет, Филадельфия, США) создали новый тип веществ, имитирующих действие антител (АТ), которые в отличие от существующих природных и искусственных АТ способны проходить через кровеносные сосуды и проникать в мозг. Эти имитаторы живут в организме дольше, чем обычные АТ. Они не содержат аминокислот, что позволяет им «ускользнуть» от действия защитных сил организма, и устойчивы к действию деструктивных ферментов. Выяснилось также, что они стимулируют рост клеток оболочки нейронов центральной нервной системы. Это позволяет использовать их для лечения тяжелого заболевания — рассеянного склероза, при котором наблюдается распад этих клеток.

Действие новых веществ аналогично действию природных

АТ и основано на специфическом связывании их с антигенами с помощью особого образования — «петли» (природные АТ имеют шесть таких петель).

В отличие от пептидов новые вещества хорошо растворимы в воде и потому обладают большой подвижностью в живых тканях. Устойчивость к действию ферментов, разрушающих обычные природные и искусственные антитела, авторы объясняют тем, что новые антитела «маскируются» атомами углерода от действия защитных сил организма. Имитаторы антител не обладают иммуногенностью, и их дальнейшее изучение открывает перспективы для создания новых фармацевтических, терапевтических, диагностических и рецепторсвязывающих агентов. Немаловажно, что эти вещества легко производить и можно вводить вместе с едой.

Science, 1991. V. 253. N 5071. P. 792—797.

Биохимия

Переориентация иммунной системы

Иммунная система уникальна в своей способности защищать позвоночных от микроорганизмов. Однако вирусы и другие патогены обладают массой «стратегических приемов» для нейтрализации иммунной системы. Например, белки оболочки вирусов способны быстро мутировать, а консервативные участки этих белков заперты так глубоко, что недоступны для связывания с антителами. П. Шульц и К. Шокат (P. Schultz, K. Shokat; Калифорнийский университет, Беркли, США) предложили новый подход к иммунотерапии, который позволяет иммунной системе образовывать антитела к тем веществам, которые в обычных условиях не вызывают иммунный ответ.

Иммунологическое узнавание клетки-мишени проходит в две стадии. Антигены связываются с лигандами, которые избирательно взаимодействуют с консервативными участками поверхности вируса, что приводит к образованию нового антигена на его поверхности. Таким образом,

вирус становится «узнаваемым» для нейтрализации с помощью антител иммунной системы организма-хозяина. Этот подход позволяет получать антитела к любому вирусу, для которого известен селективный лиганд.

Эту стратегию авторы проиллюстрировали в экспериментах с использованием в качестве лиганда белка СД4 и в качестве антигена 2,4-динитробензола, который узнается приблизительно 1—2 % антител. СД4-динитробензол-конъюгат (комплекс) вводили в реакцию комплексообразования с белком gp120 — белком оболочки вируса иммунодефицита человека (HIV). Связывание растворимого СД4 белка с gp120 хорошо изучено. Полученный тройной комплекс прочно связывается с антителами к 2,4-динитробензолу. Таким образом, можно получать антитела к «изменчивым» вирусам.

Journal of American Chemical Society. 1991. V. 113. N 5. P. 1861—1862 (США).

Медицина

Пандемия холеры

Седьмая по счету пандемия холеры, начавшаяся в 1961 г. в Индонезии, захватила сначала Африку и Азию, а ныне свирепствует в Латинской Америке, не знаящей этой болезни более века. Болезнь, считающаяся предотвратимой и поддающейся лечению, продолжает поражать большое число людей, особенно детей. Только в 1991 г. в мире зарегистрировано 177 тыс. случаев холеры. Это почти столько же, сколько зафиксировано с 1971 г., когда пик пандемии приходился на Африку и Азию. Сейчас три четверти новых случаев приходится на Латинскую Америку.

Пока не установлено, как холера проникла на этот континент. Эпидемии в латиноамериканских странах в XIX в. вызывались завезенными возбудителями, и доказательств присутствия вибриона холеры в этом регионе нет. Последняя вспышка также может быть связана с завозом инфекции.

Однако Ф. Годли (F. Godlee; Лондонская школа гигиены и тропической медицины, Великобритания) считает, что вибрион сохраняется в солоноватых лагунах у побережья Перу, откуда болезнь распространилась в другие страны Латинской Америки, где с начала 1991 г. от нее скончались 1200 чел. По оценке ВОЗ, 120 млн. латиноамериканцев подвергаются риску заражения холерой из-за отсутствия санитарно-гигиенических условий и чистой воды.

Эксперты ВОЗ считают, что обеспечение населения чистой водой и создание необходимых санитарно-гигиенических условий в Латинской Америке в ближайшие 10 лет обойдется в 50 млрд. долл. ВОЗ объявила о создании специальной комиссии по борьбе с распространением холеры. Генеральный директор ВОЗ Х. Наклама обратился к международной общественности с призывом оказать безотлагательную финансовую помощь организациям, участвующим в борьбе с пандемией.

British medical journal. 1991. V. 302. N 6794. P. 1039—1040 (Великобритания).

Медицина

Что сокращает нам жизнь

Под потенциальными потерямиными годами жизни (ППГЖ) подразумевается время, не дожитое человеком относительно ожидаемой продолжительности жизни.

К. Вилкинс и И. Марк (K. Wilkins, E. Mark; Центр статистики здравоохранения, Канада) рассчитали показатели ППГЖ на 100 тыс. человеко-лет. Болезни, ставшие причинами преждевременной смерти, даны согласно Международной классификации болезней (9-я редакция).

Выяснилось, что основная причина преждевременной смерти мужчин — ишемическая болезнь сердца, затем идут несчастные случаи на транспорте и самоубийства. У женщин — это рак молочной железы, ишемическая болезнь сердца и несчастные случаи на

Основные причины смерти и показатели ППГЖ в Канаде на 100 тыс. человеко-лет (1987—1988 гг.)

	Мужчины	Женщины
Ишемическая болезнь сердца	1355	371
Рак молочной железы	—	380
Рак трахеи, бронхов, легкого	597	268
Инсульт	203	159
Цирроз печени	155	63
Хронические болезни легких	147	75
Рак толстой кишки	147	123
Рак яичника	—	87
Лимфосаркома	121	76
Рак матки	—	75
Лейкоз	114	73
Рак поджелудочной железы	81	53
Рак желудка	76	36
Рак почки	50	26
Рак прямой кишки	48	26
Болезни почек	39	30
Рак мочевого пузыря	27	7
Ревматический полиартрит	27	25
Язвы	17	7
Несчастные случаи на транспорте	1015	385
Самоубийства	776	197
Убийства	107	61

Медицина

Наследование СПИДа

Имеющиеся в литературе сведения о передаче ВИЧ-1 по наследству получены главным образом в результате обследования детей с симптомами СПИДа в специальных центрах.

Специалисты 10 европейских центров (Амстердама, Барселоны, Берлина, Брюсселя, Валенсии, Генуи, Мадрида, Падуи, Стокгольма, Эдинбурга) исследовали 600 детей, родившихся у ВИЧ-инфицированных матерей до 15 июня 1990 г. Детей обследовали клинически и лабораторно сразу после рождения, каждые 3 мес. до 18-месячного возраста и затем каждые 6 мес. Из 600 детей 380 наблюдали по крайней мере год, 216 — более двух лет и 100 — более трех лет.

При последнем обследовании ВИЧ-инфекция установлена у 64 детей (по наличию антител к ВИЧ более 18 мес., на основании обнаружения вируса или его антигена). Предполагается, что 343 ребенка, у которых антитела исчезли за период наблюдения, не были инфицированы.

У 30 % инфицированных

был рано выявлен СПИД или кандидоз ротовой полости с последующим быстрым развитием СПИДа. К 6 мес. клинические или лабораторные признаки ВИЧ-инфекции проявились у 83 % инфицированных, к 12 мес. у 26 % имелся клинически выраженный СПИД, и 17 % умерли от связанного с ВИЧ заболевания. Из лабораторных показателей наиболее чувствительным и специфичным признаком инфекции считают повышение уровня иммуноглобулинов G, A, M.

В дальнейшем болезнь прогрессировала медленнее, и в течение второго года жизни состояние детей оставалось стабильным или даже улучшалось.

В целом частота наследственной передачи ВИЧ-инфекции оценивается в 12,9 %. Авторы считают, что на основании лабораторного и клинического контроля ВИЧ-инфекция может быть диагностирована у 48 % инфицированных детей до 6 мес. с надежностью более 99 %.

Механизм инфицирования остается неясным. Ранние клинические и иммунологические изменения у 80—90 % инфицированных детей дают основание предполагать внутриматочное заражение, а не заражение при родах.

The Lancet. 1991. V. 337. N 8736. P. 253—259 (Великобритания).

Медицина

Амантадин при гриппе А

Вспышка гриппа А в 1989—1990 гг. в Англии и Уэльсе была наиболее тяжелой с 1976 г. и прямо или косвенно привела к 26 тыс. смертей. Такие эпидемии гриппа редки и трудно прогнозируемы. Тем не менее наблюдения в Великобритании и США показывают, что вспышки гриппа А, В или обоих типов повторяются каждую зиму, поэтому меры борьбы следует планировать ежегодно. В связи с невысокой эффективностью вакцин большой интерес вызывают другие противогриппозные средства.

Еще с 60-х годов известна способность амантадина и его

транспорте. Сравнивая показатели за 1987—1988 гг. с показателями 1982—1986 гг., авторы заметили снижение показателей ППГЖ ишемической болезни сердца: у мужчин — на 16 %, у женщин — на 15 %. Доли несчастных случаев на транспорте, самоубийств и рака легкого у мужчин почти не изменились, у женщин же показатели рака молочной железы и несчастных случаев на транспорте сохранились, а рака легкого даже повысились на 14 %.

Уменьшение ППГЖ от ишемической болезни сердца стало следствием массового отказа от курения и других благоприятных изменений в образе жизни человека. Стабильность же показателей преждевременной смерти от несчастных случаев и самоубийств требует особой профилактики среди детей и молодежи (в этих возрастных группах смерть от этих причин отмечается чаще, чем в других).

Показатели ППГЖ помогают выявить причины преждевременной смерти, поэтому представляют большой интерес. При изучении состояния здоровья населения они дополняют стандартные показатели, определяющие смертность в стране. Chronic Diseases in Canada. 1991. V. 12. N. 2. P. 12—14 (Канада).

аналогов, например ремантадина, ингибировать вирус гриппа А. Они подавляют активность многих его штаммов, включая «новые» эпидемические штаммы, но не действовали на штаммы вируса гриппа В. Наблюдения же последних лет свидетельствуют, кроме того, о появлении устойчивых к этим препаратам штаммов вируса гриппа А. Тем не менее за последние 20 лет эффективность лечения гриппа ремантадином в целом не снизилась, о чем свидетельствуют данные по нашей стране, где им лечили 142 227 пациентов.

В настоящее время в Великобритании лицензию на применение имеет лишь амантадин. При пероральном приеме он почти полностью всасывается и выделяется с мочой в неизмененном виде. Пожилым и больным с нарушениями функции почек необходимо следить, чтобы препарат не накапливался в токсических концентрациях. У 5—20 % больных, получающих ежедневно 200 мг, возникают небольшие неврологические нарушения, которые быстро исчезают после прекращения приема препарата. Амантадин противопоказан при эпилепсии, язве желудка и должен с осторожностью применяться людьми с сердечно-сосудистыми и почечными нарушениями, атеросклерозом мозговых сосудов.

При профилактическом приеме действие амантадина аналогично вакцинации. Длительное его использование по 200 мг в день во время вспышки предупреждает примерно половину случаев инфицирования, предотвращает или облегчает течение 70—100 % заболеваний.

ВОЗ считает целесообразной профилактику амантадином или ремантадином для лиц пожилого возраста, а также в постоянных коллективах для усиления эффекта вакцинации. При вакцинации после начала вспышки развитие иммунитета потребует нескольких недель, и в этот период защита от гриппа может быть обеспечена химиопротективной. Если вакцины нет или штамм вируса гриппа А, вызвавший эпидемию, сильно отличается от

вакцинного, амантадин следует принимать, пока длится вспышка (4—8 недель), по 200 мг в день (до 15 лет и после 65 лет — по 100 мг, детям от 1 до 9 лет — из расчета 2—4 мг/кг).

Благоприятный эффект препарата значительно превосходит его побочное действие.

British medical journal. 1991. V. 302. N. 6774. P. 425—426 (Великобритания).

Биология

Бликие виды — различная биология

Почему из отложенных яиц у одного вида формируются одиночные, а у другого, ближайшего, стадные личинки? Как развивается социальность у насекомых и как она связана со способами их защиты от хищников? Эти и другие проблемы изучал на примере личинок двух видов пилильщиков (*Croesus varus* и *C. septentrionalis*) энтомолог Ж.-Л. Бёве (J.-L. Boeve; Свободный университет в Брюсселе, Бельгия).

Личинки *C. varus* имеют криптическую (скрывающую) окраску и одиночны, а личинки второго вида хорошо заметны благодаря яркой окраске и живут скоплениями. Самки обоих видов откладывают яйца одинаковым образом — скоплениями. Но вылупившиеся личинки *C. varus*, образовав вначале небольшие группировки, вскоре становятся одиночными. Яркие же личинки *C. septentrionalis* не только продолжают жить группами с момента вылупления, но еще и скапливаются на определенной высоте кустарников (1,5—2,5 м в зарослях ольхи), а кроме того, выравниваются по срокам своего развития.

Личинки пилильщиков подсемейства *Nematinae*, к которому относится и род *Croesus*, в борьбе с врагами — птицами и хищными членистоногими — используют химическую защиту: особые железы на нижней стороне брюшка выделяют репеллент — отпугивающее вещество; на близком расстоянии на хищника они могут воздействовать и более сильными соединениями. Химическая защита более развита у личинок стад-

ного вида (*C. septentrionalis*), так что отпугивающая окраска у них вполне обоснованна. Более того, именно при скоплениях окраска лучше заметна, а запах лучше чувствуется. В норме личинки отпугивают врага и окраской, и репеллентом. Но у этого вида бывают периоды резкого понижения численности, когда роль скоплений уменьшается. Тогда вступает в действие химическая защита на близком расстоянии.

Итак, различия в биологии двух близких видов пилильщиков функционально определяются небольшими различиями в степени развития их «химических» желез. Однако конкретные механизмы проявления этих различий остаются пока совершенно неисследованными.

Oecologia. 1991. V. 85. N. 3. P. 440—446 (ФРГ).

Зоология

Акула — очередная жертва цивилизации!

После 400 млн. лет существования акула оказалась под угрозой уничтожения. С. Грайбер (S. Gryber), эксперт по акулам из Университета Майами (США), сообщает, что обитающие у берегов Атлантики сельдевая, песчаная и черноперая акулы находятся в критическом состоянии, а сельдевая акула и акула-лисица у побережья Калифорнии уже исчезли.

Возрастающий спрос на плавники, мясо и кожу акул вызывает бесконтрольное расширение их добычи, что при низкой репродуктивности и медленном росте ставит акул на грань исчезновения. Национальная служба морского рыболовства США предложила план ограничения добычи акул в Атлантике рыбаками-промысловиками и спортсменами, который предполагалось ввести в действие в июне 1990 г., но и в начале 1991 г. он все еще не был утвержден. Для Тихого океана никакие ограничительные меры даже не рассматриваются, несмотря на то, что акула — важное звено в его пищевой цепи и падение численности акул может вызвать далеко идущие экологические последствия.

Эксперты также подчеркивают важность и перспективность изучения особой способности акул сопротивляться заболеваниям раком, а в случае болезни — быстро излечиваться.

International Wildlife. 1991. January—February. P. 28 (США).

Экология

Крокодил крокодилу — волк!

В бразильском городе Озориу (штат Риу-Гранди-ду-Сул) одна из фирм торгует шкурами крокодилов, причем не местных, а нильских. Из Африки завозят детенышей, выкармливают на специальной ферме, а взрослое животное забивают, чтобы кожу продать в европейские страны или Японию, где за нее дают хорошие деньги. Только в прошлом году в Озориу с этой целью импортировали с берегов Нила 95 молодых самок и 15 самцов. Фирма процветает и планирует довести поголовье животных до 2,5 тыс.

Однако против этих планов выступили местные охранители природы: они считают эту затею опасной для бразильской природы и сбалансированности ее экологической системы. Ведь кайман, населяющий реки тропических районов Южной Америки, никогда не достигает более 2 м в длину, а «африканцы» нередко вырастают до 6 м. Экологическая ниша у них одна: места «гнездовий» совпадают, в пищу идут одни и те же виды животных. Так что в соревновании за выживаемость, если оно начнется, шансы каймана практически равны нулю. Между тем никто не может поручиться, что тот или иной нильский пришелец не выберется на свободу.

В связи с этим достаточно вспомнить, как Южная и Центральная Америка намучились с пчелой, привезенной для улучшения местных пород, но оказавшейся непомерно агрессивной. Поэтому «делом» нильского крокодила скоро займется суд штата.

New Scientist. 1991. V. 131. N 1780. P. 7. (Великобритания)



Охрана природы

Медведь и бабочка «против Олимпийских игр»

В Международный Олимпийский комитет поступило предложение провести Зимние игры 1998 г. в Японии, в префектуре Нагано, расположенной в 400 км к северо-западу от Токио. Это гористый снежный район, популярный у лыжников. Однако такое намерение не вызвало радости у местных защитников природы: именно здесь обитает редкая бабочка-парусник, или японский кавалер (Luehdofia japonica), которая может окончательно исчезнуть, если будут проложены трассы и построены огромные подъемники для горнолыжников.

Кроме того, в Нагано обитает ивасугская популяция белогрудого, или гималайского, медведя (Ursus thibetanus), тоже находящегося под угрозой исчезновения. Этот зверь вообще не выносит шума и суеты, неизбежных во время олимпийского столпотворения.

Власти префектуры согласились перенести место для соревнований по скоростному спуску со склонов горы Ивасуге на близлежащую гору, где медведи как будто не встречаются. Но это не удовлетворяет защитников природы.

Префектура Нагано — одна из самых небогатых в Японии. Как только стало известно о ее притязаниях на проведение Олимпийских игр, цена на землю здесь резко возросла, и отказаться от возможной прибыли многие местные жители не захотят. Но и экологи Японии известны своим упорством, так что «сражения» предстоят серьезные.

New Scientist. 1991. V. 130. N. 1772. P. 17 (Великобритания).

Геотектоника

Альтернатива спредингу

При спрединге (раздвиге океанического дна) базальты, изливающиеся на дно океана, приобретают характерную для

данного момента намагниченность. С течением времени магнитное поле Земли меняется и новые порции изливающихся базальтов будут иметь новую намагниченность. Время изменения магнитного поля Земли устанавливается по возрасту найденных в соответствующих слоях остатков ископаемых организмов. Существует карта разновозрастных магнитных аномалий океана, из которой видно, что нет аномалий древнее 160 млн. лет. Теория спрединга исходит из того, что в это время еще не существовало ложа океанов. Следовательно, это предполагает круговорот материала океанической коры с продолжительностью цикла порядка $2-3 \times 10^8$ лет.

Ю. Н. Авсюк (Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН) предлагает для объяснения подобных фактов новую гипотезу, использующую схему приливной эволюции системы Земля — Луна. Приливная активность Земли очень высока по сравнению с другими планетами Солнечной системы, поскольку она имеет необычайно крупный спутник — Луну. Это свойство Земли позволяет реализовать колебательный режим приливной деятельности. При таком режиме скорости движения Луны и вращения Земли периодически изменяются: при ускорении вращения Земли движение Луны затормаживается, и наоборот. В течение фанерозоя (за 600 млн. лет) реконструируются три полных цикла прихода-ухода Луны. Если сравнить схему приливной эволюции со шкалой магнитных инверсий, то видно, что 160 млн. лет Луна находилась в положении наибольшего удаления от Земли. В такой период в мантии Земли может происходить пластическое перетекание вещества, начиная с глубин 700 км и выше. Этот процесс связан с изменением характеристик вращения Земли. В земной коре, расположенной над пластичной мантией, будут возникать системы упорядоченных трещин.

Пульсирующее раскрытие трещин при воспроизведении сходных условий приводит к тому, что «молодой» расплав, поступающий в трещины, уничтожает предшествующую намагни-

ченность пород и фиксирует характеристику магнитного поля времени своего появления. Профильные съемки выявляют полосовой характер магнитных аномалий, ширина которых десятки километров. Однако автор модели указывает на существование мелкомасштабных аномалий разного знака, чередующихся через километр, и пород с намагниченностью, противоположной современной, в центральной зоне срединно-океанического хребта. Он считает, что это противоречит предположению о круговороте материала океанической коры.

Доклады АН СССР. 1991. Т. 317.
№ 6. С. 1337—1341.

Геология

134-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн»

Этот рейс, научными руководителями которого были Г. Грин (H. G. Green; Геологическая служба США, Менло-Парк, штат Калифорния) и Ж.-И. Колло (J.-Y. Collot; Управление зарубежных исследований Франции), проводился в западной части Тихого океана, в районе коллизионного шва, вдоль которого происходит столкновение Новогебридской островной дуги с так называемой зоной д'Энтраксто. Эта зона представляет собой цепь подводных поднятий между северным окончанием Новокаледонского хребта и Новогебридским желобом, вблизи которого она «расщепляется» на северную и южную ветви.

По геолого-геофизическим данным, Новогебридская островная дуга, входящая в сложную систему островных дуг, которые тянутся от Новой Гвинеи до Новой Зеландии вдоль зоны субдукции (поддвига) Тихоокеанской литосферной плиты под Индийско-Австралийскую, являет собой тот участок, где субдукция имеет обратное направление, т. е. Индийско-Австралийская плита пододвигается под Тихоокеанскую.

В рейсе предстояло выяснить характер тектонических деформаций в указанном районе, а также переработки литосферы

в зоне столкновения и перемещения материала с одной плиты на другую; изучить эволюцию магматизма островной дуги в связи с возможным изменением направления субдукции; определить время начала столкновения этих структур и изменения полярности субдукции, если оно имело место; исследовать процессы дегидратации субдуцированной литосферы и литосферы фронтальной части дуги, проанализировав состав коры и флюидов в преддуговой зоне.

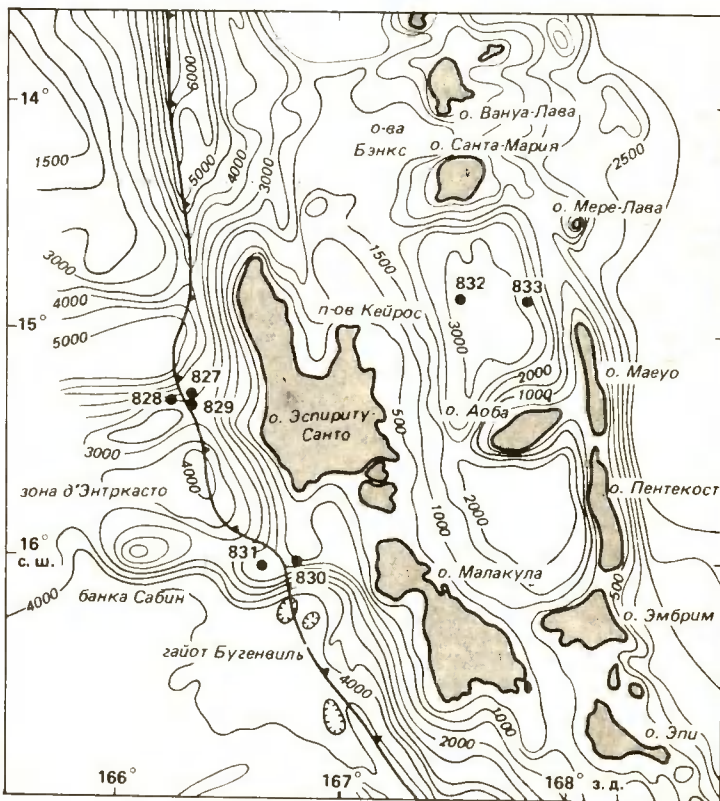
Всего в рейсе пробурено 16 скважин в семи точках (827—833), пять из которых — вблизи коллизионного шва и две — в северной части впадины Аоба, внутри Новогебридской островной дуги, находящейся приблизительно в 200—250 км к востоку от зоны коллизии.

Предварительные результаты полученных в рейсе материалов свидетельствуют о различном характере деформации в районе столкновения с дугой северной и южной ветвей зоны д'Энтраксто. В северной — осад-

ки чехла и породы верхних горизонтов фундамента, похоже, были содраны в процессе субдукции и сгружены на фронтальную часть дуги, сформировав при этом банку Уоузи, состоящую из серии тектонических чешуш. В южной части зоны (гайт Бугенвиль) деформации сжатия, напротив, незначительны, хотя она сближается с островной дугой с той же скоростью и под тем же углом, что и северная. Наибольшие изменения поровых флюидов, судя по преобразованию вулканогенных осадков, проявились в более высоких, по сравнению с морской водой, концентрациях в них хлоридов и кальция и более низком содержании калия, натрия и магния. Повышенный поток флюидов вблизи коллизионного шва северной ветви обусловлен, вероятно, большим дроблением здесь литосферы.

Скважины, пробуренные в

Район глубоководного бурения в 134-м рейсе «ДЖОЙДЕС Резолюшн».



северной части впадины Аоба, вскрыли мощный (около 1 км) разрез среднемиоценовых-плейстоценовых пеллагических и вулканокластических отложений. Нижняя половина разреза сложена преимущественно известковыми алевритами и писчим мелом с редкими пепловыми прослоями, верхняя — вулканокластическими брекчиями, песчаниками и алевритами с незначительной примесью карбонатного материала. В средней части разреза между этими толщами отмечено несогласие позднелистоценового или раннеплейстоценового возраста, которое, вероятно, свидетельствует о тектонической перестройке в пределах Новогвинеидской островной дуги из-за ее столкновения в это время с зоной д'Энтраксто.

И. А. Басов,
доктор географических наук
Москва

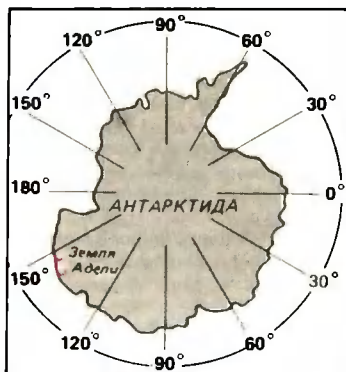
Гляциология. Геология

Картографирование ледников Земли Адели

В Университете Пьера и Марии Кюри в Париже проведен анализ снимков Земли Адели, полученных с французского космического аппарата «SPOT».

Наложив спектральные снимки (дающие разложение по цвету) и панхроматические (разложение по текстуре) на обычные аэрофотоснимки, удалось получить материалы для картографирования льдов, различных по своему генезису. Установлено, что по периферии ледяного покрова расположен «голубой лед» — самый старый по возрасту и наиболее обедненный пузырьками воздуха; переместившись из центральной части ледяного покрова, этот лед оказался под мощным воздействием ветра и испарения. От него легко отличить по снежным наносам материковые льды и выводные ледники. Когда снежные покровы размывает ветер, в таких местах выделяют «живой лед».

Хорошо заметны заступы, сугробы различной формы, ориентированные по направлению ветров. Наконец, на поверх-



Район картографирования ледников Антарктиды.

ности ледяного покрова отчетливо выделяются трещины, волнообразные структуры, вызванные динамикой материкового льда. По этим формам можно определить основные направления растекания ледяного покрова.

La Recherche. 1991. V. 22. N 234. P. 844 (Франция).

Организация науки.
География

Новый план климатических исследований

В рамках международной программы «Геосфера-биосфера» (The International Geosphere-Biosphere Programme) на конференции, проходившей в Боллагио (Италия) в декабре 1990 г., предложен план развития международной сети региональных исследовательских центров и полигонов для сбора и анализа данных об изменениях климата Земли. План START (System for Analysis, Research and Training) предполагает организацию в 14 исследовательских регионах, включая Арктику и Антарктику, сети, в целом покрывающей планету. По колебаниям химических показателей вод суши и биогеохимических потоков можно, в частности, оценить динамику поступления метана в атмосферу и воздействие на нее.

Особенно чувствительна к глобальному изменению климата Антарктика, чей ледяной покров служит основным резервуаром пресных вод. Состояние

антарктических льдов — важный фактор в исследованиях колебаний уровня Мирового океана.

Polar Record. 1991. V. 27. N 161. P. 145—146 (Великобритания).

Палеонтология

Как ходил трицератопс!

В большинстве музеев мира трицератопс (огромный рогатый растительноядный ящер) обычно изображен стоящим на широко расставленных четырех ногах. Однако специалисты уже около 20 лет спорят о том, как были устроены конечности у всех представителей группы цератопсов, включая трицератопса. На заре развития палеонтология его представляли медленно семенящим, с широко расставленными, как у ящериц, передними лапами и расположенными, подобно слоновым, прямо под телом — задними. Этот образ, однако, оспорил палеонтолог Р. Бэккер (R. T. Bakker; Университет штата Колорадо, Боулдер, США), считающий, что у трицератопса все четыре конечности находились под прямым углом к туловищу, и, следовательно, он мог бегать не хуже современного носорога. В некоторых музеях экспонаты были «исправлены». Однако на конференции Общества палеонтологии позвоночных, состоявшейся в конце 1990 г. в Лоренсе (США), Р. Джонсон (R. Johnson; Музей в Милуоки, штат Висконсин) и Дж. Остром (J. H. Ostrom; Йельский университет, Нью-Хейвен, штат Коннектикут) утверждали, что эта модель несостоятельна.

Готовя к экспозиции недавно обнаруженный скелет торозавра (близкого «родственника» трицератопса), они опробовали на его модели, которая включала изготовленные из фибергласа кости лопаток и конечностей, оба положения последних. Оказалось, что если поставить передние ноги торозавра перпендикулярно туловищу, то его локтевые суставы займут невероятное положение. Отсюда исследователи заключили, что торозавры, трицератопсы

(а возможно, и все цератопсы) имели «раскоряченные», как у ящерик, конечности и бегать галопом никак не могли. Правда, и при этом они передвигались сравнительно быстро.

Science News. 1991. V. 138. N 16.
P. 255 (США).

Палеоантропология

В «полку гоминид» — пополнение

В 70-х годах при раскопках в районе Хадара (Эфиопия) были обнаружены остатки «Люси» — одного из древнейших представителей ранних гоминид. В 1991 г. археологи Д. Джохансон, У. Кимбел, Р. Уолтер (D. Johanson, W. Kimbel, R. Walter; Институт происхождения человека, Беркли, штат Калифорния, США) нашли там новые остатки древнейших предков человека, относящихся, вероятно, к тому же виду, населявшему северо-восточную Африку более 3 млн. лет назад.

Находка состоит из 18 отдельных частей скелета, принадлежащих 15 особям австралопитека афарского, которые были расположены в поверхностных слоях земли. Лишь три фрагмента обладают анатомическими чертами, отличными от известных ранее хадарских гоминид.

Одна часть лицевых костей вместе с верхней челюстью сохранила костные опоры по бокам носового прохода, напоминающие по строению опоры австралопитека африканского, населявшего южную часть этого континента по меньшей мере 2,5 млн. лет назад. Однако форма и толщина челюсти заставляют уверенно отнести их владельца к тому же виду, что и «Люси». Корни же передних зубов у «новичка» залегают менее глубоко, чем у любого известного до сих пор австралопитека афарского.

Нижняя челюсть со всеми зубами (прекрасно сохранившимися) обладает примитивными чертами, роднящими ее владельца с представителями обезьян, вымерших 8—12 млн. лет назад и связываемых некоторым родством с австралопи-

теком афарским. Весь ряд моляров (коренных зубов) изогнут внутрь, а малый коренной (за нижним клыком) имеет лишь один острый выступ. Подобная черта ранее обнаруживалась у некоторых представителей австралопитека афарского, но никогда — у более поздних гоминид.

Большой интерес специалистов привлекали также костные остатки верхней части правой руки от плеча до кисти, сильно поврежденные, возможно, гиеной. Две глубокие борозды на кости говорят о том, что здесь были прикреплены сильные мускульные волокна, приспособленные для подтягивания на руках. (Ряд палеоантропологов считают, что хадарские гоминиды значительную часть времени проводили на деревьях).

По мнению Д. Джохансона и многих его коллег, австралопитек афарский уже преодолел немалый эволюционный путь к постоянному прямохождению.

Новая находка значительно расширяет анатомическое разнообразие этого вида, ключевое для науки о происхождении человека. Она также повлечет за собой возобновление споров о том, представляют ли хадарские гоминиды один вид или несколько.

Science News. 1991. V. 139. N 12.
P. 182 (США).

Археология

Неисчерпаемые петроглифы Онежского озера

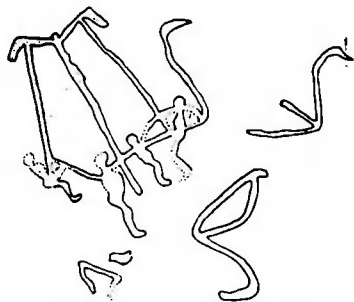
Онежские петроглифы впервые были открыты в 1848 г. и в числе других петроглифов Карелии приобрели всемирную известность благодаря разнообразию и сложности сюжетов, высокой художественности этого древнего искусства. Почти за полтора столетия на Онеге побывала не одна экспедиция археологов (специалистов и любителей), и детальное обследование скальных поверхностей нередко приводило к новым открытиям, расширяя ареал онежских петроглифов, которых уже насчитывается свыше 900.

Начиная с 1982 г. на восточном берегу озера, где и сконцентрированы петроглифы, работала группа по изучению наскальных рисунков Эстонского отделения Всесоюзного астрономо-геодезического общества, из которого в 1988 г. сформировалось Общество первоначального искусства, руководимое

Птица с двумя головами (коптуры прорисованы мелом). Петроглиф сопоставим с костромским свадебным ковшом, одна половина которого напоминает лебедя, другая — иную птицу.

Фото автора





«Чудесная мельница» с лебедем и четырьмя людьми. Имеет сходство с древними изображениями, найденными на территории Швеции и Египта, с «качалами» — в Мексике (по стереофотограмметрической копии К. Пяртне).

В. Пойкалайненом. Участники экспедиции 1986—1987 гг. П. Клаассен, К. Паюпуу, А. Куперьянов и Л. Йызкалда открыли две большие группы петроглифов на одном из мысов Кочконаволока, что означало продвижение границы ареала на 1—2 км к северу от устья р. Водлы, где в 1970-е годы были обнаружены наскальные рисунки экспедицией Ю. А. Савватеева.

Всего было найдено на Кочконаволоке свыше 100 изоб-

бражений, преимущественно контурных. В основном это фигуры водоплавающих птиц или отдельных их частей (чаще всего — головы с шеями). Обилие выбивок водоплавающей птицы вообще характерно для всего онежского ареала. Размеры новооткрытых изображений часто превышают 1 м. Изумляет рисунок огромного лебедя высотой 2,8 м — это крупнейшая фигура из найденных до сих пор на Онеге. Ее первооткрывателями мысок, где она была обнаружена, назван Лебединым носом. Кроме птиц на Лебедином носу представлены фигуры лосей и оленей. У одного лося между ногами выбито изображение лебедя, причем одна нога лося одновременно образует шею птицы.

На Лебедином носу встречаются уникальные изображения, впервые зарегистрированные в наскальном искусстве Карелии. К ним относятся загадочный «каркас» с лебедем и четырьмя людьми, напоминающий «чудесную мельницу» Сампо из эпоса «Калевала»; чудовищная фигура женщины с телом жука или лягушки и поднятыми руками; странная лодка с серповидным корпусом. Мотив лягушки или женщины с лягушачьим

телом имеет широкое распространение. Его принято связывать с плодородием, потусторонним миром, Лунной и др. Онежское изображение — трехпалое, что является символом загробного мира. В представлениях древних женщина могла быть универсальной прародительницей — Матерью Земли. Изображение корабля или лодки с серповидным корпусом, птичьей головой и деревом тоже связано с потусторонним миром. Ритуальные корабли мертвых, подобные онежскому, известны у древних скандинавов, а также у народов Океании и Индонезии.

Петроглифы Онеги помогают постичь духовный мир, религиозные верования их творцов; они подтверждают также гипотезу, что движущим мотивом в их создании служит желание достигнуть плодородия, плодовитости человека и животных. С этими целями первобытный охотник-рыболов и обращался к тотемическим зооморфным предкам в образе лебедя, лося или иного животного, к Матери-Земле, к Луне, подчеркивая тем самым единство человека и окружающей природы.

Э. Эрнст
Тарту

КОРОТКО

Смитсоновская астрофизическая обсерватория (Вашингтон, США) приступает к сооружению мощного субмиллиметрового телескопа на горе Мауна-Кеа (штат Гавайи), где уже находится много других крупных астрономических приборов. Инструмент под названием STA (Submillimeter Telescope Array — субмиллиметровая телескопная сеть) будет состоять из шести подвижных антенн диаметром 6 м каждая, что эквивалентно гигантскому телескопу диаметром до 500 м. Стоимость установки более 40 млн. долл.

Smithsonian Institution Research Reports. 1991. N 65. P. 6 (США).

Ученые лаборатории «Лоуренс» (Беркли, США) близки к созданию синтетического химического препарата для очищения живых организмов от радиоактивного загрязнения. Разрабатываемый ими препарат способен «узнавать» и связывать ионы тяжелых металлов, например плутония, и удалять их из живых тканей и окружающей среды. В качестве модели для синтетизирования препарата использовал механизм действия сидерофоров, которые микроорганизмы секретируют в среду обитания для связывания необходимого им железа.

Environmental Science and Technology. 1991. V. 25. N 3. P. 359 (США).

Строительство опреснительной установки производительностью 1368 тыс. л/сут на о. Тортала (Британские Виргинские о-ва) в Карибском море разрешило проблему его водоснабжения. Работая по принципу обратного осмоса, установка разделяет морскую воду на пресную и рассол. Для предупреждения коррозии трубопроводов их промывают пресной водой. В будущем производительность установки планируется удвоить.

Environmental Science and Technology. 1991. V. 25. N 8. P. 1344 (США)

Почти все о СПИДе

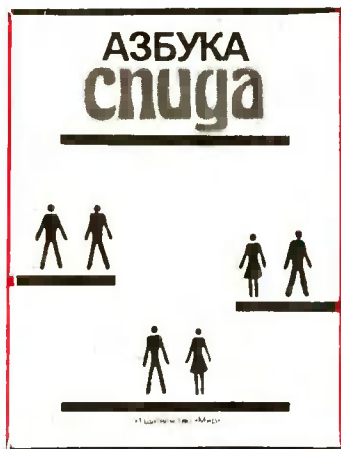
О. О. Астахова

Москва

ПЕРВАЯ вест о СПИДе появилась в 1981 г., когда группа врачей из Калифорнии сообщила о необычной форме пневмонии у пятерых гомосексуалистов. А уже через два года газеты и экраны телевизоров заполнились сообщениями о чуме XX в., что вызвало в свою очередь эпидемию страха. К концу 1985 г. в США было официально зарегистрировано более 13 тыс. больных, а ныне их в мире уже более 500 тыс. и миллионы инфицированных. Громко заявив о своем существовании, СПИД за 10 лет охватил почти все страны мира и стал огромной общечеловеческой проблемой.

Но история СПИДа — не только новая трагедия, но и яркая иллюстрация стремительного развития науки. Темпы и технические возможности охоты за микробами и вирусами сегодня не сопоставимы с эпохой классической микробиологии. Всего за два-три года ученым удалось выделить и изучить структуру инфекционного агента — вируса иммунодефицита человека (ВИЧ). Этот ретровирус, включаясь в геном лимфоцитов человека, служит источником хронической и, увы, в обозримом будущем неизлечимой инфекции.

Хотя в настоящее время уже многое известно о СПИДе, еще больше остается нерешенных проблем, как чисто научных, так и организационных. В мире существует масса литературы о СПИДе. Естественно, уследить за ней сложно, а кроме того, есть уже вполне устоявшиеся представления. Вот почему сборник, подготовленный английскими исследователями в 1989 г. и обращенный к работникам здравоохранения Велико-



АЗБУКА СПИДА. Под ред. М. Адлера. Пер. с англ. А. Т. Тихоненко. М.: Мир, 1991. 68 с. Ц. 3 р. 50 к.

британии, может быть полезен и нашему читателю.

В этом издании, прекрасном иллюстрированном, в сжатой форме представлены основные сведения о СПИДе. В 15 небольших статьях отражены почти все стороны этой обширной проблемы: медицинские, научные, экономические, юридические, социальные. В сборнике каждая последующая статья служит логическим продолжением предыдущей, и в результате вырисовывается полная картина СПИДа в Великобритании. Описаны эпидемиология и иммунология СПИДа, структура и идентификация вируса, клиническое течение болезни и сопутствующих патологий, возможная терапия, распространение инфекции и уход за больными, острые вопросы социальной защиты больных и инфицированных.

Главное, на что хочется обратить внимание, — это общий гуманный настрой сборника, заданный его составителем М. Адлером. Долг тех, кто соприкасается со СПИДом, — предоставить больным все виды помощи, чтобы, оглядываясь назад, можно было сказать, что для решения задачи сделано все возможное. Никто не имеет права занимать по отношению к больным СПИДом жестокую и безответственную позицию. Именно так ставят задачу английские специалисты перед социальными службами и здравоохранением, к работникам которых обращен прежде всего этот сборник.

На самом деле его читательская аудитория может быть гораздо шире. С сожалением приходится констатировать, что два года подготовки издания по СПИДу — очень большой срок, ведь почти каждый месяц появляются новые сведения и сильно меняется статистика. И все же польза от такого издания бесспорна: сегодня нужно использовать любую возможность донести до каждого азы знания о СПИДе.

Биология

Дж. Аллен, М. Нельсон. КОСМИЧЕСКИЕ БИОСФЕРЫ. М.: Прогресс, 1991. 128 с. Ц. 1 р. 60 к.

При всем совершенстве нашей биосферы (по терминологии авторов — «Биосферы I») ее ожидает конец вследствие изменений на Солнце, влияния на Землю космических явлений или техногенной деятельности человека. Правда, если не случится ядерной войны, то конец «Биосферы I» отдален от наших дней достаточно надолго.

Книгу Дж. Аллена и М. Нельсона представляет «управляющий высшего ранга» Маргарет Огастин, соавтор проекта замкнутой автономной системы «Биосфера II» (площадью 1 га), где недавно на два года «космической жизни» поселились восемь человек, чтобы «увидеть своими глазами картину будущего, того самого будущего, — пишут авторы, — к строительству которого мы стремимся всей душой».

Своим проектом «Биосфера II» они открывают подготовку к расселению человека в космосе, в первую очередь на Марсе. В общей сложности в книге фигурирует 49 вариантов биосфер, которые могут создаваться для вынесения жизни человека в космос.

Эта книга — рассказ о будущем, но в этот рассказ вложены настоящее и прошлое нашей биосферы.

Авторы хорошо знают советскую литературу и широко используют работы В. И. Вернадского, М. М. Камшилова, А. В. Лапо.

кислотные дожди, одно из самых тяжелых порождений индустриализации. Расчеты экспертов показали, что в 1976 г. в США ущерб от кислотных дождей на душу населения составил примерно 100 долл.

Книга содержит характеристику атмосферных загрязнителей, которые при растворении в атмосферной влаге порождают эти смертоносные дожди, и атмосферных процессов, которые способствуют их формированию.

В основном авторы опираются на зарубежные данные, которые нашему читателю были более открыты, чем советские. Однако в США, Канаде и у нас картина загрязнения атмосферы примерно схожая, и данные о том, что 90 % серы в атмосферу попадает в результате работы тепловых электростанций и 40 % азота выбрасывается из выхлопных труб транспорта, отражают ситуацию и в нашей стране.

Авторы резонно критикуют традиционные способы «уменьшения» пагубного влияния загрязнителей атмосферы на природу, которые сводятся к увеличению высоты труб до 350 м и дополнению их специальными вентиляторами, с силой выбрасывающими дымы и газы вверх. Радикальное улучшение ситуации достижимо лишь на пути применения специальных очистных устройств, которые, несмотря на высокую стоимость, оказываются экономически выгодными — исключают разрушение среды и дают дополнительный доход за счет уловленных соединений серы, фосфора и др., а также за счет роста площадей зеленых насаждений.

в колледже Крайст Чёрч в Оксфорде, он разрабатывал идеи математической логики.

Одним из первых он пришел к символическому и графическому методам решения логических задач, ввел таблицы истинности и придумал некоторые положения, используемые современной логикой. Эти методы и задачи и представлены в сборнике «Логическая игра».

Автор в доступной форме излагает суть таких наиболее часто используемых в логике понятий, как суждение, признак, субъект, предикат, частное и общее суждение. Это ему необходимо, чтобы в дальнейшем раскрыть основные положения своей собственной системы логики.

Кэрролловские задачи до сих пор восхищают и знатоков, профессиональных логиков, и тех, кто убежден, что обыденный здравый смысл превышает хитросплетения науки. В приложение включены некоторые игры, фокусы, головоломки Кэрролла и его письма детям.

Мир Льюиса Кэрролла сложный и захватывающе интересный. Открыв сборник, читатель вступит на неведомую территорию, и перед ним представят неожиданные решения, новые подходы к известным явлениям.

Экология

Г. Е. Завков, С. А. Маслов, В. Л. Рубайло. КИСЛОТНЫЕ ДОЖДИ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА. М.: Химия, 1991. 144 с. Ц. 1 р 10 к.

Усыхающие леса, мертвые озера, покрытые грязноватыми потоками памятники архитектуры, бесплодные поля, задыхающиеся от астмы горожане — вот далеко не полный перечень бед, которые приносят

История науки. Математика

Л. Кэрролл. ЛОГИЧЕСКАЯ ИГРА. Пер. с англ. Ю. А. Данилова. М.: Наука, 1991 (Б-чка «Квант». Вып. 73). 192 с.

Льюис Кэрролл широко известен как автор «Алисы в стране чудес» и «В Зазеркалье». Менее известно, что этими книгами его наследие не исчерпывается. Преподавая математику

Субъядерная физика, М. П. Бронштейн и Э. Майорана

Г. Е. Горелик,

кандидат физико-математических наук

Институт истории естествознания и техники РАН
Москва

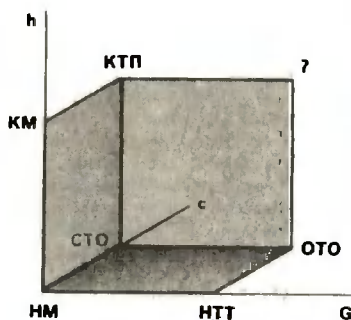
ЭТА ВСТРЕЧА состоялась летом 1991 г. в Италии, в небольшом древнем сицилийском городе Эрмиче. Здесь, в Центре научной культуры им. Этторе Майораны 14—22 июля проходила очередная, 29-я Международная школа по субъядерной физике. Ее тема — «Физика при наивысших энергиях и интенсивностях: к пониманию происхождения массы».

В атмосфере встречи витал дух истории. Среди почитателей, помимо Всемирной федерации ученых и Мировой лаборатории (World Laboratory), значился фонд Галилео Галилея, а посвящалась школа, как было написано на афише, «400-летию первого великого открытия в современной науке: 1591—1991. Автор: Галилео Галилей». Тут же приводилась формула этого открытия: $m_i = m_g$.

Впрочем, познакомясь с программой, можно было предположить, что истории физики тут предназначалась роль декоративного антуража, благородной старины, без которой скучновато жить даже физикам-субъядерщикам. В самом деле, что Галилею решеточная хромодинамика и струйная феноменология, стандартная модель и 200 ТэВ, струнный вакуум и страшные аббревиатуры LEP и FNAL, LHS и SSC? И что всему этому Галилей?!

Только открывающая встречу и завершающая ее лекции назывались «по-человечески», по-галилеевски. Первую «Проблема массы: от Галилея до Хиггса» прочел Л. Б. Окунь, а вторую — «Происхождение массы» — сам П. В. Хиггс.

Именно Л. Б. Окуню и обязано то «внедрение» исто-



Пространство физических теорий. НМ [теория без констант] — ньютоновская механика, НТТ [G-теория] — ньютоновская теория тяготения, СТО [c-теория] — специальная теория относительности, КМ [h-теория] — квантовая механика, ОТО [cG-теория] — общая теория относительности, КТП [ch-теория] — квантовая теория поля, I [cGh-теория] — пока не существующая, но уже имеющая много названий, в том числе Теория Всего. hcG-куб расположен так, чтобы лучше всего были видны его грани, уже освоенные физикой, и сделан непрозрачным, чтобы не видно было его Gh-вершину — нерелятивистскую квантовую гравитацию, для которой [пекал] не видно реальной области применения.

рии в жизнь, о котором пишу-щему эти строки так приятно рассказать. Уже из названия лекции Окуня можно догадаться, что для рассмотрения предмета требуется объектив весьма широкого профиля и глубокопроникающий. Для теоретической физики XX в. это cGh-объектив, самый лучший и к тому же до-

вольно простой. Речь идет о способе рассматривать структуру теоретической физики, соотношение различных физических теорий, опираясь на учет трех фундаментальных физических констант — скорости света c , гравитационной постоянной G и постоянной Планка h . Это позволяет в пространстве физических теорий ввести трехмерную cGh-систему координат, единичный куб которой в своих вершинах содержит все известные фундаментальные теории и одну еще не известную, но долгожданную (см. рис.).

Эта система дает возможность смотреть на прошлое теоретической физики, ее настоящее и даже будущее. О результатах такого рассмотрения говорится в опубликованном докладе Л. Б. Окуня¹ на Первой Сахаровской конференции (Москва, май 1991).

Из этой же статьи можно узнать, что «сGh-точку зрения» на теоретическую физику открыл еще в 30-е годы Матвей Петрович Бронштейн (1906—1938). Тем, кто не успел прочесть его переизданные книги и его биографию², быть может, имя этого замечательного физика-теоретика и детского писателя говорит не так уж много — слишком короткой была его жизнь.

Кроме замечательных детских книжек и cGh-точки

¹Окунь Л. Б. Фундаментальные константы физики // Успехи физ. наук. 1991. Т. 161. № 9. С. 177—194.

²Бронштейн М. П. Солнечное вещество. М., 1990. (Библиотечка «Квант». Вып. 80); Горелик Г. Е., Френкель В. Я. Матвей Петрович Бронштейн (1906—1938). М., 1990.



Этторе Майорана (1906—1938).

том, как хранит она память о муже.

Все это произвело на слушателей такое впечатление, что организаторы школы и ее президент А. Зикики тут же решили учредить стипендию имени М. П. Бронштейна. Среди 12 подобных стипендий, учрежденных Всемирной федерацией ученых в Центре научной культуры им. Э. Майораны, имеются стипендии им. П. Дирака и А. Д. Сахарова.

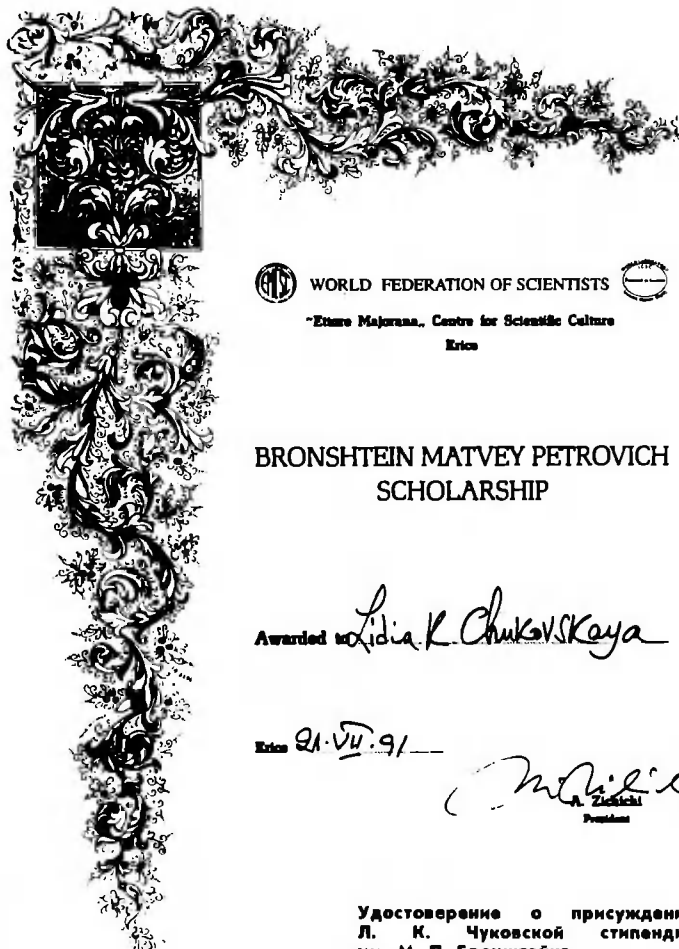
А первую стипендию им. М. П. Бронштейна присудили Л. К. Чуковской. Мне выпала счастливая возможность вручить Лидии Корнеевне очень красивую «грамоту» и помочь повесить ее на стене рядом с фотографией Матвея Петровича. Историку трудно обойти



Матвей Петрович Бронштейн (1906—1938).

зрения М. П. Бронштейну принадлежит первое глубокое исследование по квантованию гравитации и изящная работа на стыке физики элементарных частиц и космологии — первая работа такого рода³. Оба эти исследования имеют непосредственное отношение к не заполненной еще вершине сGh-куба, а сама непокоренная вершина имеет прямое отношение к будущему субъядерной физики.

Об этом лучше всего прочитать у Л. Б. Окуня. В Эриче, однако, он не собирался рассказывать о навечно молодом советском физике, Западу почти не известном. Но в своей лекции Л. Б. Окунь использовал сGh-систему отсчета. Простой и глубокий подход очень понравился «школярам», и они захотели узнать, кто этот подход предложил. И тогда лектор рассказал о М. П. Бронштейне, его работах и трагической судьбе, рассказал и о его вдове — Лидии Корнеевне Чуковской, гражданская смелость и стойкость которой, статьи и книги известны гораздо больше. Рассказал и о



WORLD FEDERATION OF SCIENTISTS



Ettore Majorana, Centre for Scientific Culture
Eriче

BRONSHTEIN MATVEY PETROVICH SCHOLARSHIP

Awarded to

Lidia K. Chukovskaya

Eriче 21.VII.91

Matvey
A. Zichichi
President

Удостоверение о присуждении
Л. К. Чуковской стипендии
им. М. П. Бронштейна.

³Бронштейн М. П. Квантование гравитационных волн // ЖЭТФ. 1936. Т. 6. С. 195—236; Bronshtein M. Quantentheorie schwarzer Gravitationsfelder // Phys. Ztschr. der Sowjetunion. 1936. Bd. 9. S. 140—157; Бронштейн М. П. О возможности спонтанного расщепления фотонов // ЖЭТФ. 1937. Т. 7. С. 335—358.

молчанием то обстоятельство, что стипендия им. М. П. Бронштейна учреждена в центре им. Э. Майораны — итальянского физика-теоретика, работавшего в знаменитой группе Ферми и имевшего те же самые даты рождения и смерти, что и Бронштейн: 1906—1938. И у обоих молодых теоретиков нет на земле могил. Хотя сходство это лишь внешнее. Майорана помимо своего таланта выделялся загадочным равнодушием к жизни и пессимизмом; в марте 1938 г. он сел на пароход и... исчез. В морской пучине? Неизвестно...

Но хорошо известно, в какой пучине исчез М. П. Бронштейн, который был человеком необычайно жизнелюбивым и умевшим жить в полный накал⁴. В июне 1991 г., за месяц до учреждения стипендии им. М. П. Бронштейна, из управле-

ния КГБ по Ленинградской области пришел ответ на запрос историка:

«Бронштейн Матвей Петрович, 02.12.1906 г. рождения, урож. г. Винницы, еврей, беспартийный, с высшим образованием, научный сотрудник Ленинградского физико-технического института, осужден 18 февраля 1938 года Военной Коллегией Верховного суда СССР за «активное участие в контрреволюционной фашистской террористической организации»... с конфискацией всего, лично ему принадлежащего, имущества...»

Таинственное исчезновение Э. Майораны нанесло душевную рану его товарищам. И те врачевали ее наиболее достойным способом, развивая его идеи, рассказывая о нем, издавая его работы⁵. Назвали его

именем Центр теоретической физики.

После исчезновения М. П. Бронштейна в течение двух десятилетий его имя было страшно произносить. В 1959 г. Л. К. Чуковской стоило больших усилий переиздать его «Солнечное вещество» — шедевр детской литературы о науке. 80-й выпуск известной «Библиотечки «Квант» составлен из всех трех его научно-художественных книг. Научные статьи Бронштейна теперь также переизданы и доступны современному читателю⁶.

Остается только надеяться, что и на родине М. П. Бронштейна тоже будет учреждена премия его имени. Такой премией можно было бы отмечать достижения в двух — очень разных — областях: в теории квантовой гравитации и в научно-художественной литературе для юных читателей.

⁴См.: Горелик Г. Е. Не успевшие стать академиками // Природа. 1990. № 1. С. 123.

⁵Amaldi E. La vita e l'opera di Ettore Majorana. Roma, 1966; Понтекорво Б. М. Детство и юность нейтринной физики // Природа. 1983. № 1. С. 43—57.

⁶Альберт Эйнштейн и теория гравитации. М., 1979; Эйнштейновский сборник. 1980—1981. М., 1985.

Над номером работали

Заместитель ответственного секретаря О. В. ВОЛОШИНА

Научные редакторы:

И. Н. АРУТЮНЯН
О. О. АСТАХОВА
Л. П. БЕЛЯНОВА
В. И. ЕГУДИН
М. Ю. ЗУБРЕВА
Э. Ю. КАЛИНИН
Г. М. КАРАСЕВА
Г. В. КОРОТКЕВИЧ
Л. Д. МАЙОРОВА
Н. Д. МОРОЗОВА
Н. В. УСПЕНСКАЯ
О. И. ШУТОВА

Литературный редактор
Г. В. ЧУБА

Художественные редакторы:
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Заведующая редакцией
С. С. ПЕРЕПЕЛКИНА

Корректоры:
Р. С. ШАЙМАРДАНОВА,
Т. Е. ДЖАЛАЛЯНЦ

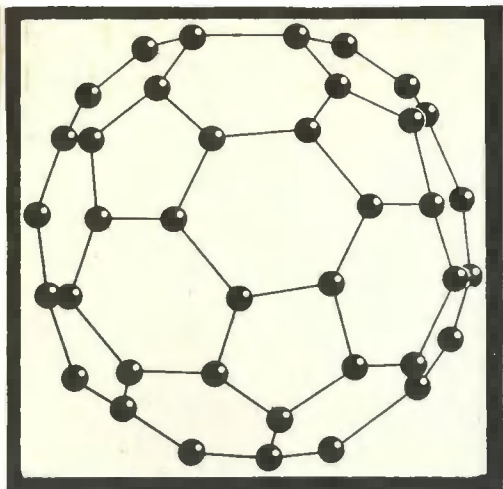
В художественном оформлении номера принимали участие
В. С. КРЫЛОВА
Ю. В. ТИМОФЕЕВ
Н. А. ТРОФИМОВА

Ордена Трудового Красного
Знамени издательство «Наука»

Адрес редакции:
117810, Москва, ГСП-1,
Мароновский пер., 26
Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 23.11.91
Подписано в печать 27.01.92
Формат 70х100 1/16
Бумага офсетная, № 1
Офсетная печать
Усл. печ. л. 10,32
Усл. кр.-отт. 818,3 тыс.
Уч.-изд. л. 15,0
Тираж 30569 экз.
Зак. 1962
Цена 1 р. 20 к.

Ордена Трудового
Красного Знамени
Чеховский полиграфический
комбинат
Министерства печати и
информации Российской
Федерации
142300, г. Чехов
Московской области



ПРИРОДА

3⁹²



Фуллерены — замкнутые углеродные кластеры — и фуллериты — их упорядоченная кристаллическая форма — открывают перед исследователями практически неограниченные возможности при моделировании новых соединений с необычными физическими и химическими свойствами.

Жариков О. В. ФУЛЛЕРЕНЫ — МАТЕРИАЛЫ XXI ВЕКА



Крупные месторождения золота, серебра, вольфрама и урана в Центральных Каракумах принято считать метаморфогенными. Однако аэрогеофизические исследования указывают на их связь с массивами верхнепалеозойских гранитов.

Портнов А. М. ЗОЛОТО ЧЕРНЫХ СЛАНЦЕВ

Для сохранения уникального научно-технического потенциала, накопленного в нашей космонавтике, и содействия выходу страны из экономического кризиса необходимо развитие новых направлений ракетно-космической промышленности, вносящей весомый вклад в НТП.

Бульдяев Г. А. ПРОБЛЕМЫ ГУМАНИЗАЦИИ В КОСМОНАВИКЕ

В чем причина постоянного присутствия в природе возбудителя чумы? Окончательного ответа на этот вопрос еще нет. Однако накопленные за много лет факты дают основание для постановки новой задачи — специального научного анализа и выработки принципиально новых подходов, способных объяснить целый ряд непонятных явлений.

ЧУМА: ПРОШЛОЕ И НАСТОЯЩЕЕ

В образовании нервной системы у эмбрионов важную роль может играть механогенетическая регуляция формообразования и программирования развития головного мозга.

Савельев С. В. ЭМБРИОНАЛЬНАЯ РОЛЬ ФОРМЫ МОЗГА

1 р. 20 к.
Индекс 70707

